

Tallinna XXVI koolinoorte keemiaolümpiaadi koolivoor

2025.–2026. õa

9. detsembril 2025 kell 12.00–15.00

Koolivooru ülesanded on koostatud eesti keeles. See on ülesannete tõlge vene keelde.

Перед началом работы перенесите на титульный лист своей работы данную таблицу и внесите в неё свои имена и школу.

12. klass		I	II	III	IV	Σ
Õpilase nimi						
Õpetaja nimi						
KOOL						

Разрешено использовать периодическую систему химических элементов, электрохимический ряд активности металлов, таблицу растворимости и калькулятор.

1. ЗАДАНИЕ (10)

В таблице приведены стандартные энтальпии образования и молярные энтропии ряда веществ.

Aine	H ₂ S(g)	S(t)	SO ₂ (g)	SO ₃ (g)	O ₂ (g)	H ₂ O(g)	H ₂ O(v)
$\Delta H_f^\circ \left(\frac{kJ}{mol} \right)$	–21		–297	–396		–242	–286
$S^\circ \left(\frac{J}{mol \cdot K} \right)$	206	32	248	257	205	189	70

При решении задачи могут быть полезны следующие соотношения:

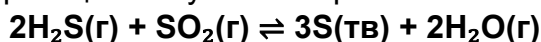
$$\Delta H^\circ = \sum \Delta H_f^\circ (\text{продукты реакции}) - \sum \Delta H_f^\circ (\text{исходные вещества})$$

$$\Delta S^\circ = \sum S^\circ (\text{продукты реакции}) - \sum S^\circ ((\text{исходные вещества}))$$

$$\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T\Delta S^\circ \quad \Delta G^\circ = -RT \ln K \quad R = 8,314 \frac{J}{\text{моль} \cdot K}$$

1. Чем можно объяснить то, что стандартные энтальпии образования серы и кислорода не внесены в таблицу? (0,5)

Содержащиеся в ископаемом топливе соединения серы при переработке топлива превращаются в газообразный сероводород, который затем окисляют до серы. Это основная реакция получения серы:



Вычислите для реакции получения серы:

1) стандартное изменение энтальпии ΔH° ; (1)

2) стандартное изменение энтропии ΔS° ; (1)

3) стандартное изменение свободной энергии Гиббса ΔG° при 300 °С. (1)

Предположите, что стандартные изменения энтальпии и энтропии этой реакции не зависят от температуры, т.е. используйте величины, вычисленные в подпунктах 1) и 2).

4) значение константы равновесия K при температуре 300 °С. (1)

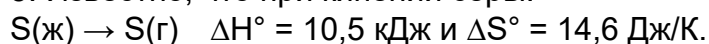
3. Оцените по значению константы равновесия, рассчитанному в подпункте 4 предыдущего пункта, в какую сторону при 300 °С смещено равновесие реакции получения серы. (0,5)

4. Как смещают равновесие реакции получения серы следующие факторы? (1)

1) повышение температуры;

2) удаление серы из реакционной смеси?

5. Известно, что при кипении серы:



Рассчитайте на этой основе температуру кипения серы и представьте её в °С. (1)

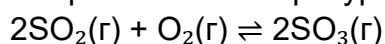
Большая часть произведённой серы превращается в серную кислоту через оксиды.

6. Известно, что:



Рассчитайте стандартную энтальпию образования $H_2SO_4(ж)$. (1)

7. При какой температуре для химической реакции



равновесная константа $K = 10^{-2}$? (2)

2. ЗАДАНИЕ (10)

Первая часть

В сосудах, обозначенных буквами **A–E**, находятся растворы указанных веществ с концентрацией 0,030 М.

Обозначение	A	B	C	D	E
Формула вещества	CH_3CH_2COOH	K_2CO_3	HNO_3	$Ba(OH)_2$	NH_4Cl

$$K_a(\text{пропановая кислота}) = 1,3 \cdot 10^{-5}$$

$$K_b(CO_3^{2-}) = 2,1 \cdot 10^{-4}$$

$$K_w = [H^+] \cdot [OH^-] = 10^{-14} \quad K_a = \frac{[H^+][A^-]}{[HA]} \quad K_b = \frac{[BH^+][OH^-]}{[B]} \quad pH = -\log [H^+]$$

1. Расположите растворы **A–E** в порядке возрастания pH, используя соответствующие обозначения. (1)

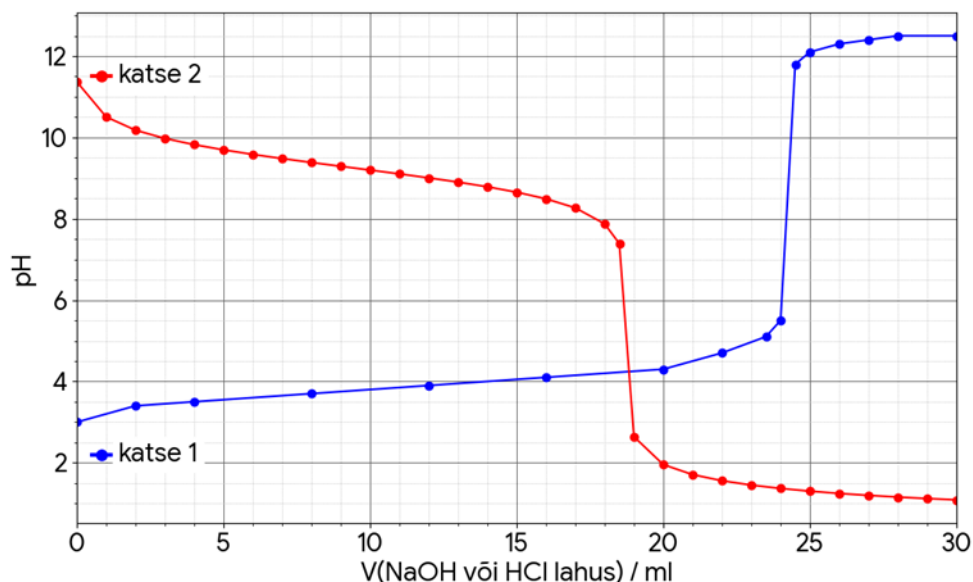
2. Сколько граммов гидроксида бария содержится точно в 1 литре 0,030 М раствора $Ba(OH)_2$? (1)

3. Рассчитайте pH 0,030 М растворов следующих веществ. Покажите соответствующие вычисления. (5)

1) $Ba(OH)_2$ 2) CH_3CH_2COOH 3) K_2CO_3

Вторая часть

В опытах 1 и 2 к 25 мл раствора слабой кислоты или слабого основания добавляли соответственно раствор NaOH или HCl. На диаграмме показано изменение pH реакционной смеси в зависимости от добавленного объёма раствора NaOH или HCl.



4. В каком опыте было нейтрализовано слабое основание?

Рассчитайте начальную концентрацию раствора слабого основания, если для нейтрализации использовался 0,400 М раствор соляной кислоты и вещества реагируют в мольном соотношении 1:1. (1)

5. В каком эксперименте нейтрализовалась слабая одноосновная кислота?

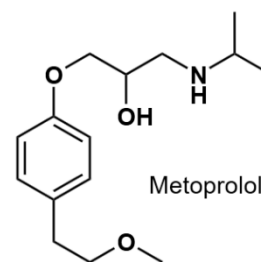
Сколько мл раствора NaOH потребовалось для нейтрализации половины одноосновной кислоты в растворе? На основании этих данных рассчитайте константу диссоциации этой слабой кислоты и идентифицируйте её по следующим данным. (2)

Кислота	хлорноватистая	уксусная	бензойная	молочная	азотистая
K_a	$3,5 \cdot 10^{-8}$	$1,8 \cdot 10^{-5}$	$6,4 \cdot 10^{-5}$	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$4,0 \cdot 10^{-4}$

3. ЗАДАНИЕ (10)

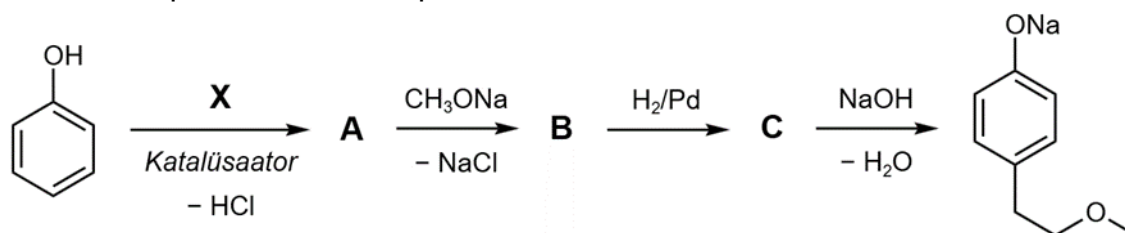
Метопролол — это препарат для лечения гипертонии, который снижает частоту сердечных сокращений и понижает артериальное давление.

1. В молекуле метопролола присутствуют функциональные группы двух таких классов веществ, между молекулами которых возникают водородные связи. Назовите эти классы веществ. (1)



2. Какая функциональная группа в молекуле метопролола присоединяет протон в кислой среде желудка? (0,5)

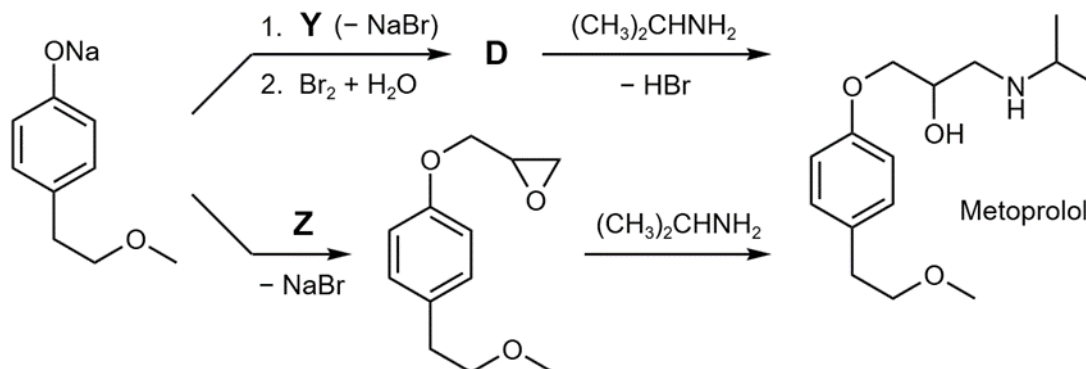
Синтез метопролола начинается с фенола. Продуктом первых четырёх стадий является пара-замещённый фенолят. Известно, что реагент X содержит один атом кислорода, а его молярная масса составляет $M = 112,94 \text{ г} \cdot \text{моль}^{-1}$.



3. Напишите формулу **одного** неорганического реагента, который мог бы служить катализатором на 1-м этапе синтеза. (0,5)

4. Укажите тип реакции, протекающей на 2-м этапе синтеза. (1)

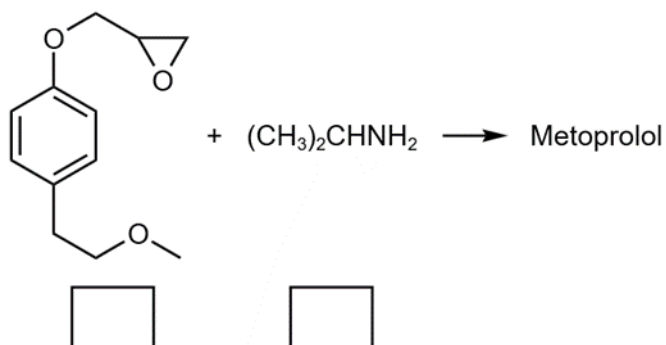
Из предварительно полученного фенолята возможно двумя способами синтезировать метопролол. Известно, что реагент **Y**, приведённый в верхнем синтетическом пути, является ненасыщенным галогенсодержащим соединением.



5. Изобразите графически структурные формулы соединений **A–D**. (4)

6. Изобразите графически структурные формулы соединений **X, Y и Z**. (2)

7. Определите, какое из исходных соединений метопролола ведёт себя в данной реакции как нуклеофил, а какое — как электрофил. Запишите в пропуск соответственно NF или EF. (1)



4. ЗАДАНИЕ (10)

Для фиксации костей и замены зубов используются имплантаты, износостойкость которых повышают, например, переходные металлы. Один из таких переходных металлов имеет электронную конфигурацию атома $[\text{Kr}]5s^14d^5$. У другого металла, применяемого в имплантатах, в природе встречаются четыре изотопа. Оценивается, что один его изотоп с числом нуклонов (частиц в ядре) 53 составляет около 9,5% от всех стабильных изотопов данного химического элемента. У атомов обоих описанных химических элементов одинаково как число электронов на внешнем слое, так и число электронов на предпоследнем слое.

1. Напишите названия обоих описанных химических элементов. (1)
2. Запишите общую формулу электронной конфигурации двух последних энергетических подуровней для этих металлов (например: для элементов группы IIIA общая формула внешнего слоя — ns^2np^1). (0,5)
3. Чем отличается распределение электронов по орбиталям у атомов двух описанных переходных металлов от распределения у большинства других переходных металлов? (0,5)

В имплантатах могут использовать титан, который получают, например, из ильменита (FeTiO_3). Получение титана происходит в два этапа. На первом этапе

ильменит нагревают в присутствии чистого хлора и углерода. Продуктами реакции являются два хлорида и один оксид неметалла (степень окисления неметалла равна II). В хлоридах степень окисления одного из металлов такая же, как в ильмените, а второй металл более окислен.

4. Запишите и уравновесьте уравнение описанной реакции. (1)

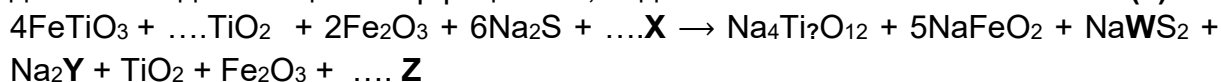
5. Составьте уравнение перехода электронов для процесса восстановления в этой химической реакции. (0,5)

Во втором этапе берут хлорид металла, необходимого для производства имплантата, и полностью восстанавливают его в процессе Крола с помощью магния при температуре 800–900 °С в атмосфере аргона.

6. Составьте уравнение описанной реакции в уравновешенном виде. (0,5)

Титан можно получать из ильменита разными способами. В одной научной статье описано приведённое ниже уравнение реакции, которое является частью процесса получения титана.

7. Дополните следующее уравнение реакции на основе данных подсказок, добавив недостающие коэффициенты, индексы и символы. (2)



Подсказки: **X** — простое вещество; **Y** — комплексный анион, который можно использовать для определения ионов бария; **W** — частица, степень окисления которой равна III; **Z** — продукт, образующийся из восстановителя и являющийся одновременно «ангидридом» серной кислоты; ? — индекс.

Титан также получают при электролизе гексафтортитаната(IV) калия.

8. Запишите формулу гексафтортитаната(IV) калия. (0,5)

9. Запишите уравнение восстановления на катоде при электролизе этого вещества. (0,5)

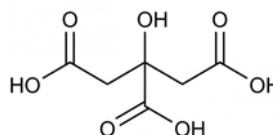
Титан при низких концентрациях устойчив к растворам кислот и щелочей. С царской водкой [смесь концентрированных HNO_3 и HCl в соотношении 1:3] он реагирует уже при комнатной температуре.

10. Дополните и уравновесьте следующее ионное уравнение реакции титана с царской водкой:



Имплантаты можно изготавливать также из кобальтовых сплавов, которые образуют комплексные соединения. Компонентом антимикробного вещества может быть розовый тетрааммонийдигидроксиацетаткобальтат(II).

11. Запишите формулу этого соединения. Цитрат-анион образуется из лимонной кислоты (см. рисунок). В комплексном соединении цитрат-анион отдаёт водороды всех карбоксильных групп. (0,5)



В аналитической химии используется жёлтая соль Фишера, называемая гексанитрокобальтат(III) калия.

12. Запишите молекулярную формулу этой соли и плоскую структурную формулу соответствующего аниона. (1)