

# РЕСПУБЛИКАНСКАЯ ОЛИМПИАДА ПО ХИМИИ

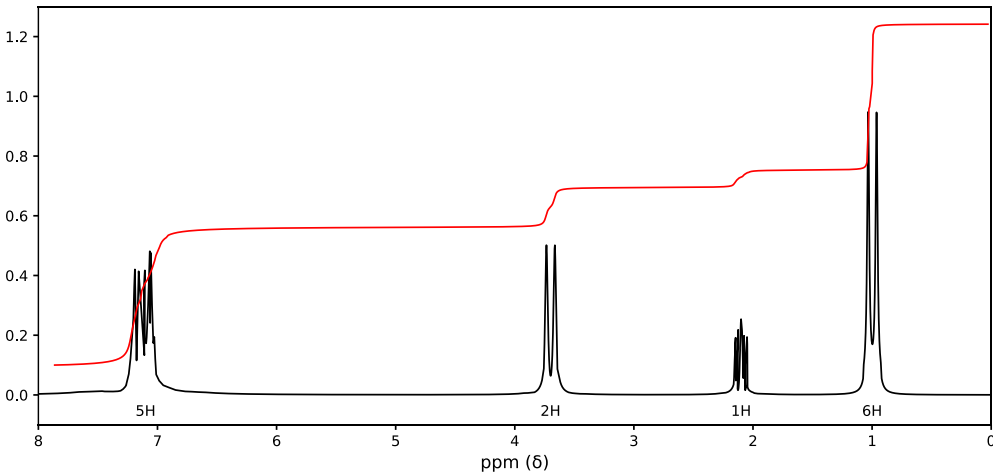
Теоретический тур, 14 марта 2026 года, XII-ый класс

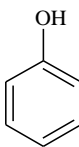
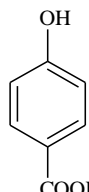
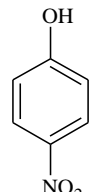
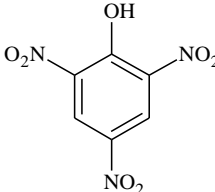
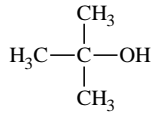
Время работы: 240 минут

Желаем успехов!

**Не забывайте расставлять стехиометрические коэффициенты в уравнениях реакций!**

**Тест (22 б.)** (В пунктах 1 – 4, 8 – 10 выберите правильный ответ)

<p><b>1.</b> Используя значения произведения растворимости следующих соединений железа, выберите вещество с наибольшей растворимостью (в моль/л).</p> $PP(Fe(OH)_3) = 4,00 \cdot 10^{-38} \qquad PP(FePO_4) = 1,30 \cdot 10^{-22}$ $PP(Fe_2(SeO_3)_3) = 2,00 \cdot 10^{-31} \qquad PP(FeAsO_4) = 5,80 \cdot 10^{-21}$ <p><b>a)</b> <math>Fe(OH)_3</math>;      <b>b)</b> <math>FePO_4</math>;      <b>c)</b> <math>Fe_2(SeO_3)_3</math>;      <b>d)</b> <math>FeAsO_4</math>.</p>	<b>2 б.</b>
<p><b>2.</b> Для проведения обратимой реакции <math>2A(z) + B(z) \rightleftharpoons C(z) + 3D(z)</math> в реактор поместили 1 моль <math>A</math>, 2 моль <math>B</math> и 0,2 моль <math>D</math>. После установления равновесия образовалось 0,3 моль <math>C</math> при <math>25^\circ C</math> и <math>p = 1</math> атм. Числовое значение константы равновесия <math>K_p</math>, выраженная через парциальные давления газов (в атм) равно:</p> <p><b>a)</b> 0,047;      <b>b)</b> 0,126;      <b>c)</b> 0,419;      <b>d)</b> 0,526.</p>	<b>2 б.</b>
<p><b>3.</b> В результате кинетического исследования необратимой реакции <math>A + 2B \rightarrow C</math> было установлено кинетическое уравнение скорости реакции: <math>v = k \cdot [A]</math>. Укажите верное утверждение для данной реакции:</p> <p><b>a)</b> реагент <math>B</math> не участвует в реакции;</p> <p><b>b)</b> увеличение концентраций обоих реагентов в два раза приводит к увеличению скорости реакции в два раза;</p> <p><b>c)</b> увеличение концентраций обоих реагентов в два раза приводит к увеличению скорости реакции в восемь раз;</p> <p><b>d)</b> введение катализатора не влияет на скорость данной реакции.</p>	<b>1 б.</b>
<p><b>4.</b> Укажите содержание свободного оксида серы(IV) в вине (в мг/л), если при титровании 50,0 мл подкисленной пробы вина, было израсходовано 4,20 мл раствора иода с концентрацией 0,0050 моль/л.</p> <p><b>a)</b> 26,9;      <b>b)</b> 13,4;      <b>c)</b> 31,6;      <b>d)</b> 21,4.</p>	<b>1 б.</b>
<p><b>5.</b> Представьте структурную формулу соединения с молекулярной формулой <math>C_{10}H_{14}O</math>, спектр ЯМР <math>^1H</math> которого представлен ниже (в спектре присутствуют четыре сигнала с соотношением 5:2:1:6 между количеством атомов водорода).</p> 	<b>2 б.</b>

<p><b>6.</b> Представьте структурные формулы (без учета стереохимии) веществ <math>X^{1-9}</math> в следующей цепочке превращений, если известно, что <math>X^9</math> является ациклическим кетоном с молярной массой менее 78 г/моль, а <math>X^3</math>, <math>X^4</math>, <math>X^5</math>, <math>X^8</math> содержат в своем составе атомы азота.</p> $  \begin{array}{ccccccc}  X^1 & \xrightarrow{CuO, t^\circ} & X^2 & \xrightarrow{[Ag(NH_3)_2]OH, NH_3, t^\circ} & X^3 & \xrightarrow{t^\circ} & X^4 & \xrightarrow{P_2O_5, t^\circ} & X^5 & \xrightarrow{+X^7 \text{ (абс. эфир)}} & X^8 \\  \downarrow SOCl_2 & & & & & & & & & & \downarrow H_2O, H^+ \\  X^6 & \xrightarrow{Mg \text{ (абс. эфир)}} & X^7 & & & & & & & & X^9  \end{array}  $		<b>9 б.</b>
<p><b>7.</b> Расположите следующие соединения в порядке усиления кислотных свойств:</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  A         </div> <div style="text-align: center;">  B         </div> <div style="text-align: center;">  C         </div> <div style="text-align: center;">  D         </div> <div style="text-align: center;">  E         </div> </div>		<b>2 б.</b>
<p><b>8.</b> Определите объём кислорода, который необходимо добавить к 10,0 м<sup>3</sup> воздуха, содержащего 21% (по объему) кислорода, чтобы повысить концентрацию кислорода до 25% (по объему) – значения, необходимого для осуществления процесса получения чугуна в доменной печи.</p> <p><b>a)</b> 0,48 м<sup>3</sup>;      <b>b)</b> 0,33 м<sup>3</sup>;      <b>c)</b> 0,53 м<sup>3</sup>;      <b>d)</b> 0,60 мг/л.</p>		<b>1 б.</b>
<p><b>9.</b> Для гидрирования 1 кг какого глицерида потребуется наибольшее количество водорода?</p> <p><b>a)</b> 1-олеоил-2,3-дипальмитоилглицерин;      <b>b)</b> 1,2,3-тристеароилглицерин;  <b>c)</b> 1,3-диолеоил-2-стеароилглицерин;      <b>d)</b> 1-пальмитоил-2,3-диолеоилглицерин.</p>		<b>1 б.</b>
<p><b>10.</b> Чтобы обеспечить наименьший расход мыла, химчистке следует использовать источник воды с жёсткостью (в ммоль-экв/л):</p> <p><b>a)</b> 1,0;      <b>b)</b> 2,0;      <b>c)</b> 3,0;      <b>d)</b> 4,0.</p>		<b>1 б.</b>

### Задача 1. (13 б.)

Промышленные платформы по получению азотсодержащих соединений (например, "AZOMUREŞ" в Румынии) объединяют несколько заводов и инфраструктуру в одной географической зоне, используя совместные коммуникации (воду, энергию), сервисы и логистику, чтобы производить в крупных масштабах аммиак, азотную кислоту и минеральные удобрения.

Водород получают при каталитической паровой конверсии метана. Газовая смесь, объемом 2000 м<sup>3</sup> (молярное соотношение  $CH_4 : H_2O = 1 : 3$ , давление 2,5 МПа, температура 800°C) подвергается конверсии, достигая равновесного выхода 85%.

После разделения реакционной смеси, к образовавшемуся водороду добавляют азот, чтобы обеспечить молярное соотношение  $N_2 : H_2 = 1 : 3$  и направляют смесь в реактор для синтеза, где при давлении 30 МПа и температуре 450°C получают аммиак. На выходе из реактора газовая смесь содержит 20% (по объему) аммиака.

Полученный аммиак, в газообразной фазе при 0,2 МПа и 120°C подают на синтез нитрата аммония в реактор, содержащий необходимое количество раствора  $HNO_3$  с массовой долей растворенного вещества 55%. Образующийся раствор направляют на выпаривание, где доводят массовую долю  $NH_4NO_3$  до 98%, после чего следует процесс грануляции. Таким образом, получают готовый продукт, с массовой долей  $NH_4NO_3$  равной 99,8%, (остальное – вода).

**1.1.** Рассчитайте параметры (в %) необходимые для заполнения коммерческого паспорта продукта, а именно:  $\omega(N_{\text{общий}})$ ,  $\omega(N_{\text{нитратный}})$ ,  $\omega(N_{\text{аммонийный}})$ ,  $\omega(\text{влажность})$ .

Ответ подтвердите расчетами и уравнениями всех протекающих реакций.

**Задача 2. (25 б.)** В данной задаче не учитывайте стереохимию.

**2.1.** Сколько дипептидов может образоваться в этой реакционной смеси? Представьте их структурные формулы и названия.

**2.2.** На примере дипептида ( $A^1$ ), полученного из фенилаланина (2-амино-3-фенилпропановой кислоты), приведите примеры уравнений реакций, показывающие его амфотерные свойства.

**2.3. Представьте структурную формулу соединения А<sup>2</sup>.**

**2.4.** Сколько пиперазиндионов может образоваться при нагревании дипептидов, полученных в пункте 2.1? Представьте их структурные формулы.

[illegible]

- относительная плотность вещества  $X^1$  по водороду равна 28; при его гидрировании образуется алкан разветвленного строения;
- $X^3$  дает реакцию серебряного зеркала и не содержит атомов азота;
- $X^6$  является аминокислотой, аминогруппу которой защищают с помощью  $X^7$ , а карбоксильную группу активируют с помощью  $X^9$ ;
- $X^7$  содержит бензильный радикал и имеет молекулярную формулу  $C_8H_7ClO_2$ .
- $X^9$  является одним из соединений из 7-го вопроса теста;
- $X^{13}$  также является аминокислотой, которую можно получить восстановительным аминированием оксокислоты  $X^{14}$  либо из насыщенной монокарбоновой кислоты  $X^{11}$ ;
- массовая доля азота в  $X^{15}$  составляет 9,12%;

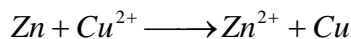
- при взаимодействии  $X^{10}$  с  $X^{15}$  образуется  $X^{16}$ ;
- гидрирование соединения  $X^{16}$  приводит к снятию защиты аминогруппы.

2.5. Представьте структурные формулы веществ  $X^1 - X^{17}$ .

### Задача 3. (20 б.)

В ряду напряжений металлов элементы расположены в порядке уменьшения их восстановительной способности и, соответственно, в порядке увеличения окислительной способности их катионов.

Рассмотрим простую реакцию замещения:



Цинк, находясь левее меди в ряду напряжений металлов, является восстановителем для ионов меди. Окислительно-восстановительную реакцию можно представить в виде суммы двух полуреакций, в которых, в отличие от электронных уравнений, используемых при расстановке коэффициентов методом электронного баланса, не используется понятие степени окисления, а записываются реально существующие частицы – молекулы или ионы:



У каждой полуреакции есть определенный окислительно-восстановительный (ОВ) потенциал, который количественно описывает окислительные и восстановительные свойства. Потенциалы восстановления (далее потенциалы) принято записывать для "потенциал-определяющих реакций" – полуреакций восстановления:  $Zn^{2+} + 2e^- = Zn$ .

Числовое значение потенциала определяет, насколько сильными окислительными свойствами обладает окисленная форма (в данном примере  $Zn^{2+}$ ) и насколько сильными восстановительными свойствами обладает восстановленная форма (в данном примере  $Zn$ ). Чем больше потенциал, тем сильнее окислительные свойства окисленной формы и слабее восстановительные свойства восстановленной формы. Обозначение:  $E_{Zn^{2+}/Zn}$ .

3.1. Запишите уравнение потенциал-определяющей реакции для  $E_{In^{3+}/In}$ .

3.2. Укажите, какое из следующих утверждений является верным, если  $E_{Zn^{2+}/Zn} = -0,763 \text{ В}$  и  $E_{In^{3+}/In} = -0,343 \text{ В}$ , аргументируйте ваш ответ:

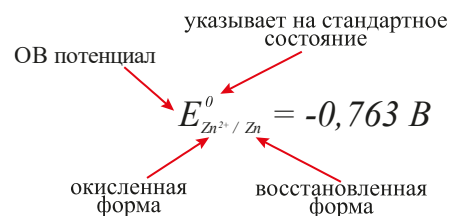
- |  |                                       |
|--|---------------------------------------|
| a) $Zn^{2+}$ способен окислить $In^{3+}$ ; | b) $Zn^{2+}$ способен окислить $In$ ; |
| c) $Zn$ способен окислить $In^{3+}$ ;      | d) $Zn$ способен окислить $In$ ;      |
| e) $In^{3+}$ способен окислить $Zn^{2+}$ ; | f) $In^{3+}$ способен окислить $Zn$ ; |
| g) $In$ способен окислить $Zn^{2+}$ ;      | h) $In$ способен окислить $Zn$ .      |

В справочниках даются значения стандартных потенциалов, т.е. потенциалов полуреакций в случае, когда концентрации ионов или молекул (участвующих в полуреакции) в растворе равны 1 моль/л, а парциальные давления молекул газов (если такие есть в полуреакции) равны 1 бар ( $10^5 \text{ Па}$ ).

Справочные значения стандартных потенциалов даются относительно водородного электрода (потенциал определяющая реакция:  $2H^+ + 2e^- \longrightarrow H_2$ ), для которого  $E_{H^+/H_2}^0 = 0 \text{ В}$ .

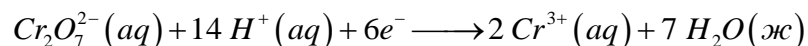
Потенциалы существуют не только для пар ион металла / металл из ряда напряжений металлов, но и для любой другой полуреакции.

3.3. При каком значении pH потенциал для полуреакции  $Ag_2O + H_2O + 2e^- \longrightarrow 2Ag + 2OH^-$  будет равен стандартному потенциалу?



Значение ОВ потенциала зависит не только от самой полуреакции, но и от концентрации ионов/молекул, участвующих в полуреакции, что описывается уравнением Нернста.

Примеры полуреакций и уравнений Нернста для их ОВ потенциалов:

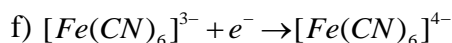
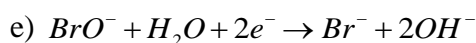
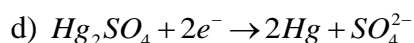
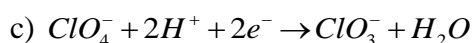
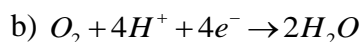
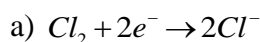


$$E_{Cr_2O_7^{2-}, H^{+}/Cr^{3+}} = E_{Cr_2O_7^{2-}, H^{+}/Cr^{3+}}^0 + \frac{0,059}{6} \lg([Cr_2O_7^{2-}] \cdot [H^{+}]^{14} / [Cr^{3+}]^2)$$

**3.4.** Запишите полуреакцию восстановления перманганат-иона в кислой среде до иона марганца(II) и уравнение Нернста для потенциала данной полуреакции.

**3.5.** Выведите уравнение, выражающее зависимость потенциала полуреакции из пункта **3.4** от pH раствора, считая, что концентрации перманганат-иона и ионов марганца(II) одинаковы. Как изменяется потенциал с увеличением pH? Как при этом меняются окислительные свойства перманганат-ионов?

**3.6.** Для каких из ниже представленных полуреакций ОВ-потенциал зависит от pH при условии постоянства концентраций / парциальных давлений окисленных и восстановленных частиц?

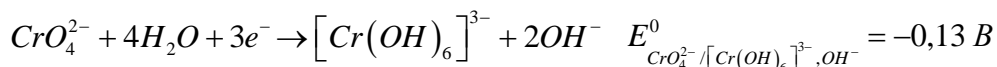
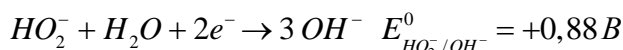


Если полуреакции окисления и восстановления разделены в пространстве, то протекание такой окислительно-восстановительной реакции становится возможным только при появлении возможности перехода электронов от восстановителя к окислителю по внешней цепи. Так работают химические источники тока – гальванические элементы. Полуреакция восстановления протекает на катоде, а полуреакция окисления – на аноде. Электродвижущая сила (ЭДС, обозначается  $E$ ) определяется как разность потенциала катода и потенциала анода:

$$E = E_{катод} - E_{анод}$$

Для того, чтобы гальванический элемент мог работать, величина ЭДС должна быть положительной, т.е.  $E_{катод} > E_{анод}$ .

**3.7.** Даны две потенциал-определяющие реакции и значения их стандартных потенциалов:



Напишите в сокращенной ионной форме уравнение реакции, которая может протекать между участниками этих двух полуреакций при стандартных условиях. Рассчитайте значение стандартной ЭДС ( $E^0$ ) для данной реакции.

**3.8.** Гальванический элемент составили из стандартного водородного электрода и серебряного электрода, погруженного в раствор нитрата серебра(I) с концентрацией 0,1 моль/л.  $E_{Ag^{+}/Ag}^0 = 0,799 B$ .

Рассчитайте значение ЭДС данного гальванического элемента. Напишите полуреакции, которые протекают на катоде и аноде и суммарное уравнение реакции в ионном виде.

**3.9.** В раствор нитрата серебра(I) из описанного в вопросе **3.8** гальванического элемента добавили такое количество иодида натрия, что равновесная концентрация ионов  $I^{-}$  стала равна 0,05 моль/л. Рассчитайте значение ЭДС гальванического элемента после добавления иодида натрия. Запишите суммарное уравнение реакции в ионном виде.  $K_{sp}(AgI) = PP(AgI) = 8,3 \cdot 10^{-17} \text{ моль}^2 / \text{л}^2$ .

**3.10.** Определите массу добавленного NaI в вопросе 3.9, если исходный объем 0,1 М раствора AgNO<sub>3</sub> равен 100 мл, допуская, что добавление NaI не приводит к изменению объема раствора.

**Задача 4. (20 б.)** В вопросах 4.4, 4.7 – 4.9 покажите ваши расчеты.

В органической химии часто требуется использовать безводные соли. Одним из способов получения безводных солей является термическое разложение кристаллогидратов.

**4.1.** Напишите уравнение реакции получения безводного сульфата меди(II) из медного купороса. Какое изменение окраски при этом происходит?

**4.2.** Приведите один пример применения безводного сульфата меди(II) в лабораторных работах по органической химии.

Хлорид цинка представляет собой гигроскопическое вещество. В результате термического разложения кристаллогидрата хлорида цинка, длительное время находившегося на воздухе, получают основную соль.

**4.3.** Напишите уравнение реакции термического разложения ZnCl<sub>2</sub>·3H<sub>2</sub>O с образованием хлорида гидроксоцинка.

Для получения безводного хлорида цинка была предложена реакция разложения безводного одноядерного комплекса цинка (вещество X<sup>1</sup>) с массовой долей цинка около 38%. При его разложении, помимо безводного хлорида цинка, образуется газ, представляющий собой индивидуальное вещество с плотностью 0,73 г/л при 25°C и давлении 800 мм рт.ст.

**4.4.** Определите координационную формулу комплекса X<sup>1</sup>.

**4.5.** Напишите уравнение реакции термического разложения комплекса X<sup>1</sup>.

**4.6.** Представьте структурную формулу основного органического продукта реакции моноацилирования бензол-1,3-диола ледяной уксусной кислотой с безводным хлоридом цинка при нагревании в течении 20 мин (молярное соотношение CH<sub>3</sub>COOH : ZnCl<sub>2</sub> : C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>(OH)<sub>2</sub> = 2,7 : 1,2 : 1; t~150°C, с последующим добавлением конц. HCl и кристаллизацией продукта при охлаждении).

Навеску гидратированного хлорида цинка массой 2,462 г прокалили, получив твердый остаток массой 1,586 г, представляющий собой хлорид гидроксоцинка. При пропускании образующегося при этом бесцветного газа через 100 мл водного раствора аммиака с массовой долей NH<sub>3</sub> 0,512% и плотностью 0,996 г/мл (раствор 1) получили раствор 2.

**4.7.** Определите pH раствора 1. Ответ округлите до одной цифры после запятой.

**4.8.** Определите pH раствора 2. Ответ округлите до одной цифры после запятой.

В раствор 2 добавили навеску AgCl массой 0,287 г и довели объем до 200 мл дистиллированной водой.

**4.9.** Определите, если хлорид серебра(I) полностью растворяется.

**Справочные данные:**

$$K_b(NH_4OH) = K_b(NH_3 \cdot H_2O) = K_b(NH_3(aq)) = K_b(NH_3) = \frac{[NH_4^+][OH^-]}{[NH_3]} = 1,77 \cdot 10^{-5} \frac{\text{моль}}{\text{л}}$$

$$\beta([Ag(NH_3)_2]^+) = \frac{[Ag(NH_3)_2]^+}{[Ag^+][NH_3]^2} = 1,74 \cdot 10^7 \frac{\text{л}^2}{\text{моль}^2}$$

$$K_{sp}(AgCl) = PP(AgCl) = [Ag^+][Cl^-] = 1,78 \cdot 10^{-10} \frac{\text{моль}^2}{\text{л}^2}$$