

ТЕКСТЫ ОЛИМПИАДНЫХ ЗАДАНИЙ РЕГИОНАЛЬНОГО ЭТАПА  
ВСЕРОССИЙСКОЙ ОЛИМПИАДЫ ШКОЛЬНИКОВ ПО ХИМИИ

(для участников)

1 тур

2025–2026

## 11 класс

**В решении приводите подробные расчеты, все ответы обосновывайте!**

**Ответы без расчетов и обоснования не оцениваются!**

### Задача 11-1

#### «Серебряный век» химических равновесий

Химик Колбочкин обнаружил в архивах старые записи ученого, который пытался охарактеризовать химические равновесия в водной суспензии оксида серебра(I). К несчастью, часть записей стерлась от времени. Помогите Колбочкину восстановить пропуски в записях и ответьте на поставленные вопросы.

-----Начало записей-----

<Равновесие 1>

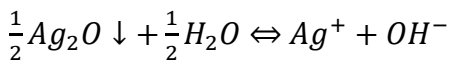
$$\beta_1 = 2 \cdot 10^2$$

<Равновесие 2>

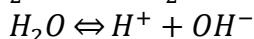
$$\beta_2 = 1 \cdot 10^4$$

<Равновесие 3>

$$\beta_3 = 2 \cdot 10^5$$



$$K_s = 2 \cdot 10^{-8}$$



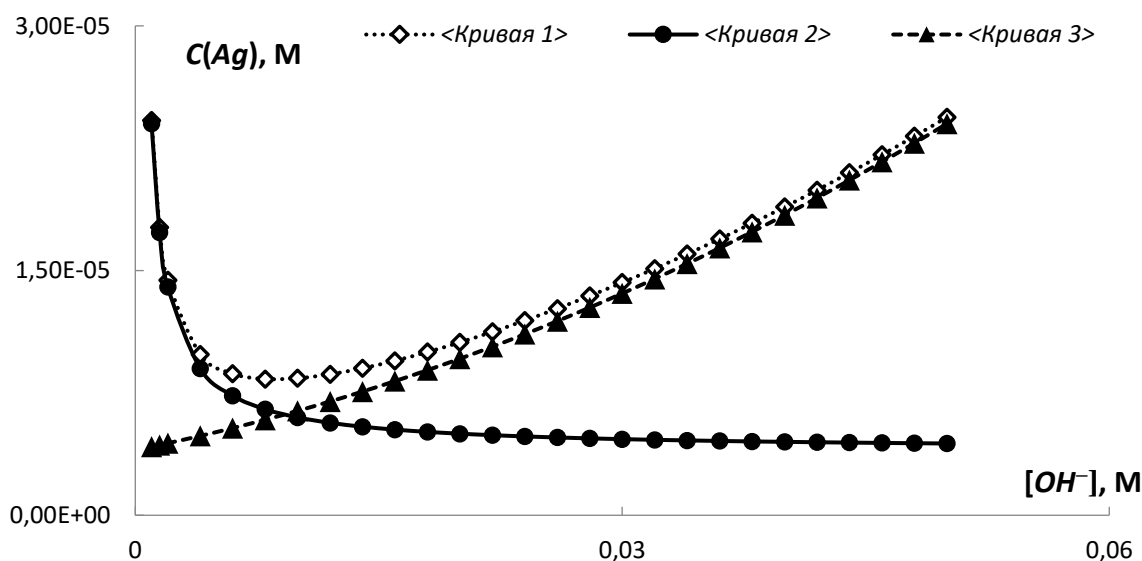
$$K_w = 1 \cdot 10^{-14}$$

$$C(Ag) = [Ag^+] + [AgOH] + \text{<Пропуск 1>} + [Ag(OH)_2^-] = \quad (1)$$

$$= [Ag^+] + \beta_1[Ag^+][OH^-] + \beta_2[Ag^+][OH^-]^2 + \text{<Пропуск 2>} \cdot [OH^-]^3 = \quad (2)$$

$$= \text{<Пропуск 3>} \cdot \left( \frac{1}{[OH^-]} + \text{<Пропуск 4>} + \beta_2[OH^-] + \beta_3[OH^-]^2 \right) \quad (3)$$

**Изменение растворимости оксида серебра(I) в зависимости от  $[OH^-]$ :**



$$\frac{dC(Ag)}{d[OH^-]} = K_s \left( -\frac{1}{[OH^-]^2} + \beta_2 + 2\beta_3[OH^-] \right) \quad (4)$$

$$-\frac{1}{[OH^-]^2_m} + \text{<Пропуск 5>} \approx 0 \quad (5)$$

$$[OH^-]_m \approx \frac{1}{\sqrt{\text{<Пропуск 6>}}} \quad (6)$$

$$C_m(Ag) \approx K_s (\text{<Пропуск 7>} + 2\sqrt{\beta_2} + \frac{\beta_3}{\beta_2}) \quad (7)$$

$$[H^+] + [Ag^+] - [OH^-] - [Ag(OH)_2^-] - 2 \cdot \text{<Пропуск 8>} = 0 \quad (8)$$

$$\frac{K_w}{\text{<Пропуск 9>}} + [Ag^+] - [OH^-] - \beta_2 K_s [OH^-] - 2\beta_3 K_s [OH^-]^2 = 0 \quad (9)$$

$$K_w + K_s - (1 + \beta_2 K_s + 2\beta_3 K_s [OH^-])[OH^-]^2 = 0 \quad (10)$$

$$[OH^-] \approx \sqrt{\text{<Пропуск 10>}} \quad (11)$$

-----Конец записей-----

### Вопросы:

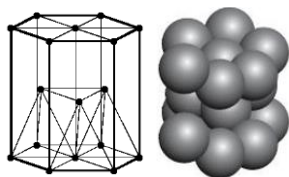
1. Что должно быть вместо *Пропусков 1–10* в записях ученого? Запишите ответы.
2. Какими химическими уравнениями описываются *Равновесия 1–3*? Запишите их.
3. Какая из *Кривых 1–3* отвечает растворимости оксида серебра(I)? Какими математическими выражениями описываются две другие кривые? Запишите эти выражения.
4. Какое значение pH создается в водной суспензии оксида серебра(I)?
5. Рассчитайте при каком значении  $\text{pH} = -\lg[\text{H}^+] = 14 - \lg[\text{OH}^-]$  в диапазоне 0 – 14 растворимость оксида серебра(I) будет минимальна?
6. Вычислите минимальную концентрацию (в моль/л) растворенного серебра над осадком его оксида, которой можно достичь, варьируя pH в диапазоне 0 – 14?
7. В 1 литре воды приготовили суспензию  $\text{Ag}_2\text{O}$ , вычислите сколько грамм осадка растворится?
8. Сколько грамм  $\text{NaOH}$  нужно добавить к суспензии оксида серебра в воде, чтобы масса осадка осталась неизменной? Ответ не равен нулю.

**В ответах на 4 и 5 вопросы значения pH округлите до целых.**

**Обязательно приводите в решении все формулы, по которым Вы проводите расчеты!**

### Задача 11-2

Около 100 лет назад был открыт один из самых редких и рассеянных элементов **X**. В природной смеси изотопов  ${}^{\text{nat}}\text{X}$  содержатся: стабильный  ${}^4_2\text{X}$  (37.40 %, с четным числом нейтронов) и радиоактивный  ${}^{A+2}_Z\text{X}$  (62.60 %,  $T_{1/2} = 43.5$  млрд лет), продуктом распада которого является стабильный нуклид **Q\*** одного из благородных металлов.



Кристаллическая  
решетка **X**

Плотность **X** 21.03 г/см<sup>3</sup>, радиус атома 1.375 Å. Металл **X** кристаллизуется в плотнейшей гексагональной упаковке (см. рисунок расстояния между всеми соседним атомами одинаковые).

Максимальные количества элемента **X** (до 0.1 %) обнаружены в молибдените ( $\omega_{\text{Mo}} = 59.94\%$ ) (можно рассматривать как смесь молибденита с изоморфным ему **X1**), который является основным источником **X**. При обжиге молибденита в том числе образуется летучее соединение **X2**, (*p-ция* 1, 2), которое концентрируется в продуктах пылеуловительных систем в виде светло-желтого кристаллического вещества, взаимодействующего с горячей водой с образованием сильной кислоты **X3** (*p-ция* 3). Плохо растворимая аммонийная соль этой кислоты при нагревании восстанавливается водородом с образованием металла **X** (*p-ция* 4).

При взаимодействии калиевой соли кислоты **X3** ( $m = 1.100$  г) со смесью концентрированных бромоводородной и фосфорноватистой кислот с последующим добавлением бромида цезия выпадают черные пластинчатые кристаллы ( $m = 2.210$  г, выход 91%) комплексной соли **X4** (*р-ция 5* – последовательные стадии запишите одним уравнением). Анион соли **X4** является биядерным кластером без мостиковых атомов с двумя удивительными особенностями: исключительно коротким расстоянием **X – X** ( $2.24 \text{ \AA}$ ) и заслоненной конфигурацией лигандов.

Пара изотопов  $^{A+2}_{Z}\text{X}/\text{Q}^*$  нашла применение в геохронологии, так как в молибденитах элемент **Q** отсутствует, а накапливается исключительно *радиогенный Q\**. Поэтому по соотношению атомов элементов **X** и **Q\*** можно определить возраст минерала. Так в карельских молибденитах соотношение атомов  $^{\text{nat}}\text{X}$  и **Q** составляет 35 : 1.

### **Вопросы.**

1. Рассчитайте объём элементарной ячейки металла **X**. (выведите все необходимые формулы! Ответ без вывода формул не оценивается)
2. Определите металл **X**, его природные нуклиды, формулу молибденита и соединений **X1 – X4**. Ответ подтвердите расчетами.
3. Запишите уравнения реакций **1 – 5**. Запишите упомянутое в задаче уравнение радиоактивного распада  $^{A+2}_{Z}\text{X}$  с образованием **Q**.
4. Рассчитайте возраст карельского молибденита.

**Справочные данные.**  $N_t = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}}$ , где  $N_0$  и  $N_t$  – количество радиоактивных ядер в начальный момент и момент времени  $t$ , соответственно;  $T_{1/2}$  – период полураспада, время, за которое распадется половина радиоактивных ядер.  $1 \text{ \AA} = 1 \cdot 10^{-10} \text{ м}$ .

### **Задача 11-3**

#### **Растворимость CO<sub>2</sub> в воде и в море**

Растворение углекислого газа в воде играет важную роль не только в пищевой промышленности, но и в формировании всей экосистемы Земли. Изучим этот процесс с точки зрения термодинамики и кинетики. В табл. 1 приведены экспериментальные данные.

**Таблица 1. Растворимость CO<sub>2</sub> в воде при давлении 1 атм**

| Температура, °C                                                                    | 10   | 15   | 20   | 25   | 30   |
|------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|
| Растворимость CO <sub>2</sub> в воде, $\text{с} \cdot 10^5$ , моль/см <sup>3</sup> | 5.34 | 4.54 | 3.91 | 3.40 | 2.99 |

1. Назовите ещё один газ, кроме CO<sub>2</sub>, растворимость которого в воде определяет состояние биосферы. Сравните растворимость этого газа с растворимостью CO<sub>2</sub> и объясните различие.

2. При какой из указанных в таблице температур растворимость газа ближе всего к значению 1 объём  $\text{CO}_2$  : 1 объём воды? Ответ подтвердите расчётом.
3. Запишите выражение для константы равновесия  $\text{CO}_2(\text{г}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{р-р})$  и вычислите её значение при 25 °С. В качестве стандартных примите давление 1 атм и концентрацию 1 моль/л.
4. Используя данные таблицы 1, вычислите энтальпию растворения  $\text{CO}_2$  в воде. Примите, что она не зависит от температуры. Для расчёта можно выбрать любые две температуры.
5. Найдите pH насыщенного раствора  $\text{CO}_2$  в воде при 25 °С. Константы диссоциации  $\text{H}_2\text{CO}_3$ :  $K_1 = 4.5 \cdot 10^{-7}$ ,  $K_2 = 4.70 \cdot 10^{-11}$ .
6. Для изучения кинетики растворения  $\text{CO}_2$  в воде термостатируемый металлический цилиндр при 25 °С заполнили наполовину дистиллированной водой, а в оставшуюся половину быстро ввели углекислый газ до давления 1 атм. После этого измеряли зависимость давления над раствором от времени. Оказалось, что растворение газа отлично описывается кинетикой 1-го порядка.

Постройте качественно график зависимости pH раствора от времени, от начала опыта до установления равновесия. На оси ординат укажите не менее двух числовых значений.

7. Таблица 2 характеризует зависимость растворимости  $\text{CO}_2$  в солевых растворах от концентрации соли. Даны три водоёма: озеро Байкал, Чёрное море и Красное море. Расположите эти водоёмы в ряд по увеличению концентрации  $\text{CO}_2$  в них в июле месяце. Объясните.

**Таблица 2. Растворимость  $\text{CO}_2$  в растворах NaCl при 20 °С и давлении 1 атм**

|                                                                            |      |      |      |      |      |
|----------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|
| Концентрация NaCl, М                                                       | 0.5  | 1.0  | 2.0  | 3.0  | 4.0  |
| Растворимость $\text{CO}_2$ , $\text{с} \cdot 10^5$ , моль/см <sup>3</sup> | 2.90 | 2.65 | 2.17 | 1.76 | 1.47 |

**Подсказка.**

Зависимость константы равновесия от температуры:  $\ln K = -\frac{\Delta H^\circ}{RT} + \text{const.}$

Зависимость концентрации продукта от времени в реакции 1-го порядка:

$$C(t) = C(\infty)(1 - e^{-kt}).$$

#### Задача 11-4

##### **И снова четыре элемента...**

Молекулярные формулы четырёх веществ  $X_A$ – $X_D$ , содержат атом одного из расположенных в одной группе Периодической системы элементов  $A$ – $D$ , соответственно, и один и тот же общий фрагмент. Молекулярные массы этих соединений относятся как  $1 : 1.236 : 1.925 : 2.64$ , соответственно. Для получения соединений  $X_A$ – $X_D$  используются 2 основных вида сырья. Эти виды сырья могут быть описаны с помощью ассоциативных рядов 1 и 2, расположенных в приложении к задаче.

При кипячении сырья 1 с концентрированной серной кислотой образуется соединение  $E_A$ , которое при повышенной температуре разлагается с образованием равных количеств  $X_A$  и монооксида углерода. Вещество  $X_B$  получают обработкой  $X_A$  газом с неприятным запахом  $F$  при  $400\text{ }^{\circ}\text{C}$  в присутствии оксида алюминия. При сгорании  $F$  в недостатке кислорода на стенках сосуда образуется жёлтый налёт простого вещества.

Основной компонент сырья 2 – вещество  $G$  – при температуре  $1500\text{ }^{\circ}\text{C}$  разлагается с образованием бесцветного газа  $H$ , из которого в четыре стадии можно получить соединение  $X_D$ . На первом шаге  $H$  обрабатывают избытком формальдегида в присутствии карбида меди. Продуктом этой реакции является соединение  $I$ , при взаимодействии которого с хлористым тиоилом в хлористом метиле при  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  в присутствии пиридина образуется вещество  $J$ . Его обработка избытком горячего этанольного раствора гидроксида калия позволяет получить вещество  $K$ , имеющее такой же качественный состав, что и  $H$ , но практически в два раза большую молекулярную массу. Взаимодействие  $K$  с натриевой солью элемента  $D$  в метаноле позволяет получить соединение  $X_D$ . В то же время единственным продуктом взаимодействия некоторого красного простого вещества и газа  $H$  при  $400\text{ }^{\circ}\text{C}$  является соединение  $X_C$ .

Химические свойства соединений  $X_A$ – $X_D$  во многом схожи, хотя есть и различия. Например, при взаимодействии с  $N,N$ -диметилформамидом в присутствии оксихлорида фосфора с последующим гидролизом все они дают соответствующие продукты  $E_A$ – $E_D$  однотипного строения, отличающиеся только атомами элементов  $A$ – $D$ . При взаимодействии с ацетилнитратом  $X_B$  и  $X_C$  образуют однотипные продукты  $L_B$  и  $L_C$ , соответственно. В то же время  $X_D$  с ацетилнитратом не реагирует, а  $X_A$  даёт продукт  $M$ , который можно затем превратить в  $L_A$  при действии пиридина.  $X_A$  реагирует с малеиновым ангидридом при комнатной температуре с образованием продукта  $N_A$ . В случае  $X_B$  аналогичный продукт  $N_B$  образуется лишь в жёстких условиях ( $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 15 кбар). При взаимодействии  $X_C$  с малеиновым ангидридом в жёстких условиях получается продукт  $O$ , который вообще не содержит элемента  $C$ , а  $X_D$  с малеиновым ангидридом не реагирует.

### Вопросы:

1. Какие два вида *сырья* используются для получения веществ  $X_A-X_D$  в задаче? Подтвердите ваш ответ логическими рассуждениями.

2. Определите состав соединений  $X_A-X_D$ , **F–K**, **M** и **O**. Если вещество обладает изомерией, приведённая вами формула должна однозначно отражать порядок связи атомов в молекуле. Для трёх наборов веществ  $E_A-E_D$ ,  $L_A-L_C$  и  $N_A-N_B$  приведите структурные формулы для одного любого вещества из каждого набора (например, можно привести структуры соединений  $E_A$ ,  $L_A$  и  $N_A$ ).

*Дополнительная информация:*

а) *региоселективность образования продуктов  $E_A-E_D$  и  $L_B-L_C$  определяется устойчивостью катионных интермедиатов этих реакций;*

б) *вещество **M** содержит 41.6 масс. % углерода и не имеет в своей структуре связей  $C=C$ , сопряжённых с другими кратными связями или неподелёнными парами гетероатомов;*

в) *соединение **O** образуется в результате распада  $N_C$ .*

3. Укажите тривиальные названия веществ  $X_A-X_D$ .

4. Объясните, с чем связана различная реакционная способность соединений  $X_A-X_D$  по отношению к малеиновому ангидриду.

### Приложение к задаче

*Сырьё 1:*



## Сырьё 2:



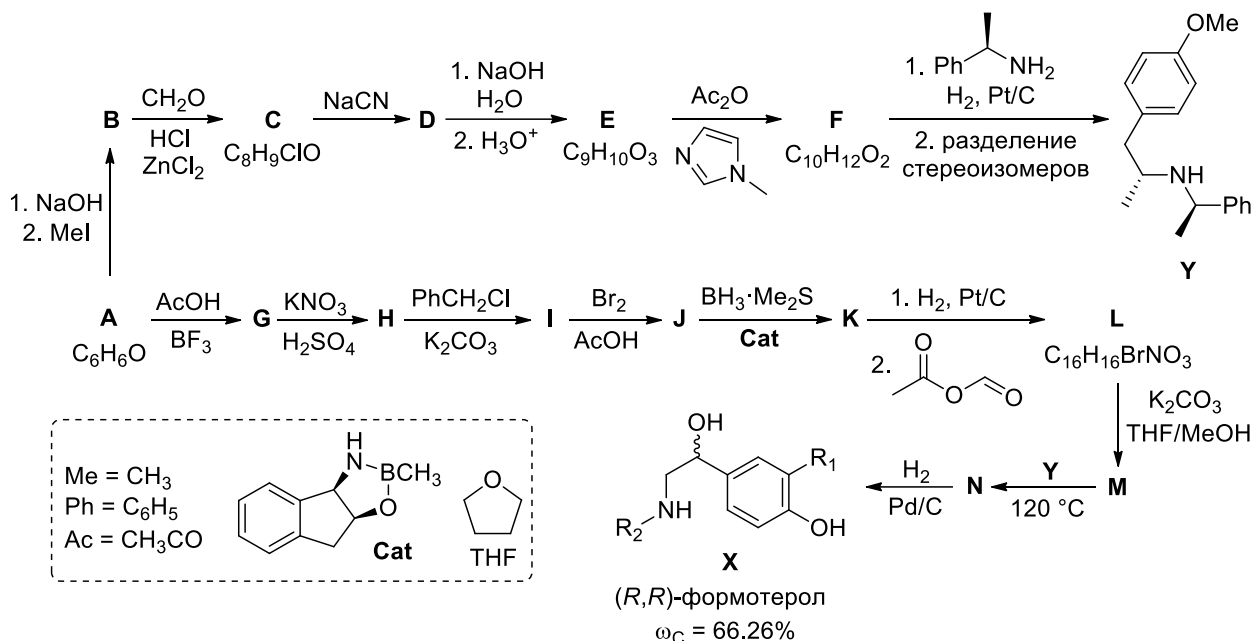
### Задача 11-5

*«Сделал дело – гуляй на балконе смело»*

*Народный фольклор*

Согласно многочисленным исследованиям, пандемия COVID-19, возникшая в 2019 году, в значительной мере поспособствовала увеличению риска развития различных респираторных заболеваний. Так, у пациентов, страдающих от постковидных симптомов, таких как одышка и другие проблемы с дыханием, значительно повышен риск развития

постоянного кашля и астмы. Астма представляет собой серьезное хроническое заболевание, для лечения которого используются различные препараты, предназначенные для базисной и симптоматической терапии. К числу последних относятся вещества, которые позволяют снять приступ кашля –  $\beta_2$ -адреномиметики. Ниже Вам предлагается расшифровать синтез и определить структурную формулу одного из селективных агонистов  $\beta_2$ -адренорецепторов, применяемого для лечения бронхиальной астмы – (*R,R*)-формотерола **X**.



### Вопросы:

1. Расшифруйте схему получения вспомогательного вещества **Y**, установив структурные формулы веществ **A** – **F**.
2. Расшифруйте схему синтеза (*R,R*)-формотерола и установите структурные формулы веществ **G** – **N** и **X**. Для указания конфигурации хиральных центров используйте клиновидные проекции (аналогично приведенной в условии структуре **Y**).