

Демонстрационный вариант комплекта заданий Второго этапа Олимпиады по Профилю «Химия и науки о материалах» по треку магистратуры, треку аспирантуры

Демонстрационный вариант комплекта заданий Второго этапа Олимпиады по Профилю по треку магистратуры, треку аспирантуры включает 35 заданий, из них 21 тестовое задание начального уровня с одним правильным ответом (верно выполненное задание оценивается в 1 балл), 5 тестовых заданий среднего уровня с несколькими правильными ответами (верно выполненное задание оценивается в 3-4 балла), 6 заданий среднего уровня с эталонным ответом (верно выполненное задание оценивается в 3 балла), 3 задания высокого уровня с развернутым ответом (верно выполненное задание оценивается в 15 баллов).

Для заданий с развёрнутым ответом приводятся критерии оценивания и эталонный ответ.

Неорганическая и ядерная химия

Задание 1

Начальный уровень сложности (1 балл)

Двойной солью является вещество

- a) $\text{Na}_2\text{IO}_3(\text{NO}_3)$
- b) PbFCl
- c) $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$
- d) $\text{K}_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

Ответ: d.

Задание 2

Начальный уровень сложности (1 балл)

Какой из пяти водных насыщенных растворов малорастворимых соединений будет иметь минимальную концентрацию аниона?

- a) йодид серебра ($K_s = 8,3 \cdot 10^{-17}$)
- b) хлорид таллия (I) ($K_s = 1,7 \cdot 10^{-4}$)
- c) сульфат кальция ($K_s = 2,5 \cdot 10^{-5}$)
- d) карбонат бария ($K_s = 4,0 \cdot 10^{-10}$)

Ответ: a.

Задание 3

Начальный уровень сложности (1 балл)

При взаимодействии оксида серы (IV) и хлора на свету образуется

- a) сульфурилхлорид
- b) тионилхлорид
- c) серная кислота

d) хлорсульфоновая кислота

Ответ: а.

Задание 4

Средний уровень сложности (3 балла)

Константа ионизации аммиака в растворе равна $1,74 \cdot 10^{-5}$. К 100 мл 0,5М раствора аммиака добавили 5,35 г хлорида аммония. Рассчитайте, во сколько раз увеличилась при этом концентрация ионов гидроксония в растворе. Изменением объема раствора при добавлении соли пренебречь. В ответе укажите только целое число.

Ответ: 340.

Задание 5

Средний уровень сложности (3 балла)

Раствора хлороводородной кислоты имеет массу 433 г. Количество атомов хлора в растворе в 10 раз меньше, чем атомов кислорода. К раствору прибавили 32,5 г гранул цинка и выдержали до прекращения реакции. Рассчитайте массу (в граммах) 20%-ного раствора гидроксида натрия, которую следует добавить к полученному раствору до прекращения протекания всех реакций. В ответе укажите только целое число.

Ответ: 600.

Задание 6

Высокий уровень сложности (15 баллов)

Количественное определение содержания пентагидрата тиосульфата натрия в препарате проводят методом прямого йодометрического титрования: Навеску препарата массой 0,345 г растворяют в 25 мл воды, переносят в мерную колбу на 100,0 мл и доводят объем раствора водой до метки. Для титрования берут пробу объемом 10,0 мл, добавляют индикатор и титруют 0,05 М раствором йода до изменения окраски. На титрование затрачено 1,35 мл раствора титранта. Рассчитайте массовую долю (в %) кристаллогидрата в препарате.

Будьте внимательны: при оценке будет учитываться ход решения, написать только ответ недостаточно.

Решение:

$2\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 + \text{I}_2 \rightarrow \text{Na}_2\text{S}_4\text{O}_6 + 2\text{NaI}$	3
Масса тиосульфата натрия в пробе (аликвотной доле): $m(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = M(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) \cdot 2 \cdot C(\text{I}_2) \cdot V(\text{I}_2)$ $m(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = 158 \cdot 2 \cdot 0,05 \cdot 0,00135 = 0,02133 \text{ г}$	3
Масса тиосульфата натрия в растворе: $m(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = 0,02133 \cdot 100/10 = 0,2133 \text{ г}$	3
Масса кристаллогидрата тиосульфата натрия:	3

$m(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = 248 \cdot 0,2133 / 158 = 0,3348 \text{ г}$	
Массовая доля: $\omega(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = (0,3348 / 0,345) \cdot 100\% = 97,1\%$	3

Ответ: 97,1

Органическая химия

Задание 7

Начальный уровень сложности (1 балл)

Наиболее сильные кислотные свойства проявляет соединение

- a) фенол
- b) 4-аминофенол
- c) 3-аминофенол
- d) 2,4-динитрофенол

Ответ: d.

Задание 8

Начальный уровень сложности (1 балл)

Соединение, в котором присутствует гликозидная связь

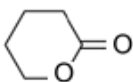
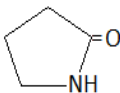
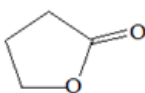
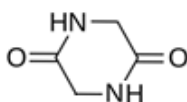
- a) глюкоза
- b) фруктоза
- c) мальтоза
- d) манноза

Ответ: c.

Задание 9

Начальный уровень сложности (1 балл)

Дикетопиперазином является соединение

- a) 
- b) 
- c) 
- d) 

Ответ: d.

Задание 10

Средний уровень сложности (3 балла)

Ацетальдегид разделили на две равные части. Первую часть подвергли кротоновой конденсации и с выходом 70% получили 12,25 г кротонового альдегида (бутен-2-аль). При

окислении второй части альдегида получили карбоновую кислоту. Полученная кислота прореагировала с выходом 60% с одноатомным спиртом (в присутствии серной кислоты), при этом образовалось 30,6 г органического продукта. Определите формулу спирта. В ответе укажите его молекулярную массу (целое число).

Ответ: 60.

Задание 11

Средний уровень сложности (3 балла)

Смесь аденина и цитозина сожгли в избытке кислорода. Продукты сгорания были пропущены через избыток раствора гидроксида кальция. Масса осадка составила 220 г. Объем непоглощенного газа равен объему газа, образующемуся при взаимодействии цианида натрия массой 93,1 г с гипохлоритом натрия в водном растворе. Определите массу аденозин-5-монофосфата, из которого был выделен входящий в исходную смесь аденин. Ответ укажите в виде XX.X

Ответ: 69,4.

Аналитическая химия

Задание 12

Начальный уровень сложности (1 балл)

Вычислите растворимость (в моль/л) и концентрацию ионов Ba^{2+} (в г-ион/л) в растворе $\text{Ba}_3(\text{PO}_4)_2$ ($\text{ПР} = 6 \cdot 10^{-39}$).

- a) $2,76 \cdot 10^{-6}$ моль/л, $1,8 \cdot 10^{-8}$ г-ион/л
- b) $2,76 \cdot 10^{-6}$ моль/л, $2,7 \cdot 10^{-8}$ г-ион/л
- c) $0,89 \cdot 10^{-8}$ моль/л, $2,7 \cdot 10^{-8}$ г-ион/л
- d) $0,69 \cdot 10^{-6}$ моль/л, $0,89 \cdot 10^{-8}$ г-ион/л

Ответ: с.

Задание 13

Начальный уровень сложности (1 балл)

Константа диссоциации муравьиной кислота НСООН , диссоциирующей по уравнению:
 $\text{НСООН} = \text{H}^+ + \text{СООН}^-$

Составляет $2,1 \cdot 10^{-4}$. Вычислить степень диссоциации α и концентрацию $[\text{H}^+]$ для 0,3М раствора этой кислоты.

- a) $6,96 \cdot 10^{-4}$, $5,3 \cdot 10^{-3}$ г-ион/л
- b) $2,64 \cdot 10^{-2}$, $7,9 \cdot 10^{-3}$ г-ион/л
- c) $1,17 \cdot 10^{-2}$, $7,9 \cdot 10^{-3}$ г-ион/л
- d) $2,64 \cdot 10^{-2}$, $1,25 \cdot 10^{-2}$ г-ион/л

Ответ: b.

Задание 14

Начальный уровень сложности (1 балл)

Вычислить концентрацию ионов Ag^+ в 0,1М растворе $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{NO}_3$, содержащем в избытке 1 моль аммиака. Константа нестойкости иона $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ равна $5,7 \cdot 10^{-8}$.

- a) $0,5 \cdot 10^{-8}$ г-ион/л
- b) $0,4 \cdot 10^{-6}$ г-ион/л
- c) $0,6 \cdot 10^{-7}$ г-ион/л
- d) $0,6 \cdot 10^{-8}$ г-ион/л

Ответ: d.

Задание 15**Средний уровень сложности (3 балла)**

В лабораторию для исследования поступил прозрачный раствор розового цвета. В ходе исследования с отдельными порциями раствора, лаборантом были проведены следующие испытания:

- 1) При добавлении гидроксида натрия образовалась смесь осадков белого, синего и розового цвета.
- 2) При добавлении растворов серной кислоты и пероксида водорода, порция раствора окрасилась в желто-оранжевый цвет.
- 3) При добавлении к порции раствора тиоцианата аммония в присутствии изоамилового спирта, верхний слой окрасился в ярко-голубой цвет.
- 4) При добавлении раствора хлорида бария, выпал осадок белого цвета.

Какие ионы присутствовали в неизвестном растворе?

- a) Ni^{2+}
- b) Fe^{3+}
- c) Ti^{4+}
- d) Cr^{3+}
- e) Co^{2+}
- f) SO_4^{2-}

Ответ: c, e, f.

Задание 16**Средний уровень сложности (3 балла)**

В лабораторию поступил образец, содержащий железо. Для определения общего железа навеска массой 1 г. растворяется в концентрированной соляной кислоте и подвергается восстановлению металлическим цинком. Далее полученный раствор разбавляется дистиллированной водой в мерной колбе до объема 100 мл. От полученного раствора отбирается аликвотная часть объемом 5 мл, переносится в коническую колбу на 100 мл. В колбу добавляется смесь серной и фосфорной кислот, 2-3 капли индикатора дифениламин и проводится титрование раствором бихромата калия с концентрацией 0,01 моль/л до перехода окраски индикатора в сине-фиолетовую. Всего на титрование образца было затрачено 10,25 мл титранта. Рассчитайте массовую долю (%) общего железа в исследуемом образце (принять $M_r(\text{Fe}) = 56$). Ответ запишите в виде целого числа.

Ответ: 69.

Физическая химия

Задание 17

Начальный уровень сложности (1 балл)

Изменение энтальпии реакции составляет -145 кДж/моль. Рассчитайте константу равновесия реакции при 700 К, если константа равновесия этой реакции при 650 К составляет 1000 .

- a) 147
- b) 0,045
- c) 6800
- d) 3,5

Ответ: а.

Задание 18

Начальный уровень сложности (1 балл)

Тетрахлорметан кипит при $76,8^{\circ}\text{C}$. При этой температуре, энтальпия испарения при постоянном давлении составляет $29,82$ кДж/моль. Рассчитайте изменение энтропии на 1 моль при кипении тетрахлорметана.

- a) $5,5$ кДж/(К·моль)
- b) $85,2$ Дж/(К·моль)
- c) $-16,5$ Дж/(К·моль)
- d) 32 Дж/(К·моль)

Ответ: b.

Задание 19

Начальный уровень сложности (1 балл)

Рассчитайте изменение энергии Гиббса при изотермическом сжатии $0,003$ м³ метана при 25°C от $0,5 \cdot 10^5$ Па до $2,0 \cdot 10^5$ Па. Считайте метан идеальным газом.

- a) 103 Дж
- b) 206 Дж
- c) 10,3 Дж
- d) 20,6 Дж

Ответ: b.

Задание 20

Средний уровень сложности (3 балла)

Какие ТРИ утверждения верны для $0,25$ моляльного раствора NaCl в воде?

- a) Указанный раствор является раствором сильного электролита.
- b) Значение температуры замерзания указанного раствора выше, чем значение температуры замерзания растворителя.

- с) Численное значение ионной силы данного раствора равно 0,25
- д) Указанный раствор NaCl проводит электрический ток хуже растворителя
- е) Коэффициент активности NaCl для указанного раствора равен 0.
- ф) Если разбавить указанный раствор, то значение его удельной электрической проводимости уменьшится.

Ответ: а, с, f.

Задание 21

Средний уровень сложности (3 балла)

Какие ТРИ утверждения верны для 0,1 молярного раствора уксусной кислоты в воде?

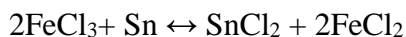
- а) Указанный раствор является раствором сильного электролита.
- б) Если удельное сопротивление 0,1 молярного раствора уксусной кислоты в воде при 298 К составляет 1960 Ом·см, то молярная электрическая проводимость раствора составляет $5 \cdot 10^{-4} \text{ См} \cdot \text{см}^2/\text{моль}$.
- с) Если значение предельных подвижностей ионов уксусной кислоты составляет $\lambda_{\text{H}^+}^{\infty} = 350 \text{ См} \cdot \text{см}^2/\text{моль}$, $\lambda_{\text{CH}_3\text{COO}^-}^{\infty} = 40,9 \text{ См} \cdot \text{см}^2/\text{моль}$, то степень диссоциации 0,1 молярного раствора составляет 0,013.
- д) Степень диссоциации растворов уксусной кислоты не зависит от степени разбавления.
- е) Электропроводность 0,1 молярного раствора уксусной кислоты увеличивается при повышении температуры.
- ф) Константа диссоциации 0,1 молярного раствора уксусной кислоты составляет $1,71 \cdot 10^{-5}$.

Ответ: с, е, f.

Задание 22

Высокий уровень сложности (15 баллов)

В гальваническом элементе протекает следующая реакция



- 1) Изобразите схему гальванического элемента. Напишите электродные процессы, протекающие в данном гальваническом элементе
- 2) Рассчитайте стандартную Э.Д.С., ΔG° и константу равновесия реакции при 25 °С.

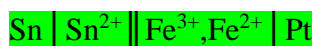
$$E_{\text{Sn}^{2+}/\text{Sn}}^0 = -0,140 \text{ В}, E_{\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}}^0 = 0,771 \text{ В}.$$

- 3) Найдите концентрацию раствора SnCl_2 в ячейке, если гальванический элемент показывает Э.Д.С. равную 0,967 В, а концентрации FeCl_3 и FeCl_2 в другой ячейке равны друг другу и составляют 0,005 моль/л. (активности ионов можно заменить соответствующими концентрациями).

Будьте внимательны: при оценке будет учитываться ход решения, написать только ответ недостаточно.

Решение:

Схема ГЭ:



2 балла

Электродные процессы:

Левый электрод (анод): $\text{Sn} - 2e \rightarrow \text{Sn}^{2+}$ (окисление)

2 балла

Правый электрод (катод): $\text{Fe}^{3+} + e \rightarrow \text{Fe}^{2+}$ (восстановление)

2 балла

Расчет стандартной Э.Д.С.

$$E^{\circ} = E_{\text{прав}}^{\circ} - E_{\text{лев}}^{\circ} = 0,771 - (-0,140) = 0,911 \text{ В}$$

1 балл

$$\Delta G^{\circ} = -zFE^{\circ} = -2 \cdot 96485 \cdot 0,911 = -175796 \text{ Дж}$$

2 балла

$$\ln K = E^{\circ} \cdot z \cdot F / (R \cdot T) = 0,911 \cdot 2 \cdot 96485 / (8,31 \cdot 298) = 71,0$$

$$K = e^{79,6} = 6,76 \cdot 10^{30}$$

2 балла

$$E_{\text{прав}} = E_{\text{прав}}^{\circ} - 8,31 \cdot 298 / 96485 \cdot \ln(0,005/0,005) = 0,771 \text{ В}$$

$$E_{\text{лев}} = E_{\text{прав}} - E = 0,771 - 0,967 = -0,196 \text{ В}$$

$$\ln(C(\text{Sn}^{2+})) = (E_{\text{лев}} - E_{\text{лев}}^{\circ}) \cdot z \cdot F / R / T = (-0,196 - (-0,140)) \cdot 2 \cdot 96485 / 8,31 / 298 = -4,36$$

$$C(\text{Sn}^{2+}) = 0,013 \text{ моль/л}$$

4 балла

Кристаллография

Задание 23

Начальный уровень сложности (1 балл)

Укажите соотношения углов и трансляций в элементарной ячейке ромбического кристалла.

- a) $a=b=c$, $\alpha=\beta=\gamma=90^{\circ}$
- b) $a=b \neq c$, $\alpha=\beta=\gamma=90^{\circ}$
- c) $a \neq b \neq c$, $\alpha=\beta=\gamma \neq 90^{\circ}$
- d) $a \neq b \neq c$, $\alpha=\beta=\gamma=90^{\circ}$

Ответ: d.

Задание 24

Начальный уровень сложности (1 балл)

Кристалл RbCl относится к структурному типу B2 (Pm3m), сколько атомов на элементарную ячейку в этом кристалле?

- a) 2
- b) 4
- c) 6
- d) 8

Ответ: a.

Задание 25

Начальный уровень сложности (1 балл)

К какому классу симметрии относится кристалл с пространственной группой $I4_1/amd$?

- a) 4mm
- b) 4/m

с) $\frac{4}{m} \frac{2}{m} \frac{2}{m}$

д) $\frac{4}{m} 3 \frac{2}{m}$

Ответ: с.

Задание 26

Средний уровень сложности (3 балла)

Чему равен период решетки Ni (Fm3m), если его атомный радиус равен 1,245 Å? Ответ укажите в ангстремах в виде X.XX

Ответ: 3,52.

Металлургия и металловедение

Задание 27

Начальный уровень сложности (1 балл)

К фазовым переходам первого рода относится:

- а) плавление и конденсация вещества
- б) переход металла или сплава в сверхпроводящее состояние
- с) переход жидкого гелия в сверхтекучее состояние
- д) превращение магнитного сплава из ферромагнитного состояния в парамагнитное

Ответ: а.

Задание 28

Начальный уровень сложности (1 балл)

Чему равна плотность упаковки ОЦК кристалла?

- а) 0,52
- б) 0,74
- с) 0,68
- д) 0,34

Ответ: с.

Задание 29

Начальный уровень сложности (1 балл)

Переход из жидкого состояния в твердое называется:

- а) рекристаллизация
- б) плавление
- с) аморфизация
- д) кристаллизация

Ответ: д.

Задание 30

Средний уровень сложности (3 балла)

Известно, что из-за размерного эффекта растворимость наночастиц некоторого вещества выше, чем его объёмной фазы. Какие из нижеперечисленных характеристик необходимо знать, чтобы оценить растворимость этих наночастиц при некоторой температуре, если известен их радиус?

- a) растворимость объёмной фазы вещества
- b) удельная энтальпия плавления объёмной фазы вещества
- c) мольный объём вещества
- d) поверхностное натяжение вещества на границе «твёрдое–жидкое»
- e) Поверхностное натяжение вещества на границе «твёрдое–газообразное»
- f) Поверхностное натяжение вещества на границе «жидкое–газообразное»

Ответ: a, c, d.

Задание 31

Высокий уровень сложности (15 баллов)

Определить число атомов на элементарную ячейку Au (структурный тип A1), используя его плотность $\rho = 19,32 \text{ г/см}^3$, период решетки $a = 4,078 \text{ Å}$, $A_{\text{Au}} = 196,97$, $1 \text{ а.е.м.} = 1,66 \cdot 10^{-24} \text{ г}$.

Будьте внимательны: при оценке будет учитываться ход решения, написать только ответ недостаточно.

Решение:

Плотность $\rho = m/V$, где m – масса элементарной ячейки, V – объем элементарной ячейки.

$m = N \cdot m_{\text{ср}}$, где N – число атомов на элементарную ячейку, $m_{\text{ср}}$ – средняя масса частицы ($m_{\text{ср}} = A \cdot 1,66 \cdot 10^{-24}$ (A - атомная масса))

Структурный тип A1 имеет кубическую ячейку, поэтому объем элементарной ячейки $V = a^3$.

Следовательно, можно записать:

$$\rho = (N \cdot A \cdot 1,66 \cdot 10^{-24}) / a^3, \text{ отсюда выражаем } N = \rho \cdot a^3 / (A \cdot 1,66 \cdot 10^{-24}) = 19,32 \cdot (4,078 \cdot 10^{-8})^3 / 196,97 \cdot 1,66 \cdot 10^{-24} = 4$$

Ответ: 4

Критерии оценивания:

Запись формулы для плотности через массу и объем – 3 балл

Запись формулы для массы элементарной ячейки через число атомов и их массу – 2 балла

Запись выражения для средней массы частицы – 2 балла

Запись формулы для объема элементарной ячейки, по данному структурному типу – 2 балла

Вывод итоговой формулы для числа атомов на элементарную ячейку – 3 балла

Подстановка численных значений в формулу – 1 балл

Правильная запись ответа (целое число) – 2 балла

Всего 15 б

Материаловедение – оценка и испытания

Задание 32

Начальный уровень сложности (1 балл)

Различие свойств в зависимости от направления испытания называется:

- a) аллотропия
- b) изотропия
- c) анизотропия
- d) полиморфизм

Ответ: с.

Задание 33

Начальный уровень сложности (1 балл)

При определении числа твердости каким методом пользуются формулой:

$$HB = P / D^2 \left[\frac{2 / \pi}{1 - \sqrt{1 - (d / D)^2}} \right]$$

- a) твердость по Бринеллю
- b) твердость по Виккерсу
- c) твердость по Роквеллу
- d) микротвердость

Ответ: а.

Задание 34

Начальный уровень сложности (1 балл)

Фазовыми переходами первого рода называются процессы, при которых:

- a) первые производные удельных термодинамических потенциалов для различных фаз одинаковы, а вторые производные различны
- b) первые производные удельных термодинамических потенциалов для различных фаз не равны между собой
- c) происходит скачкообразное изменение теплоемкости, температурного коэффициента расширения и сжимаемости вещества
- d) масса первой фазы уменьшается, а второй остается неизменной

Ответ: b.

Задание 35

Средний уровень сложности (4 балла)

Какие ТРИ характеристики можно получить после испытаний на растяжение при комнатной температуре?

- a) предел выносливости
- b) предел прочности
- c) предел текучести
- d) предел ползучести
- e) предел упругости
- f) предел длительной прочности

Ответ: b, c, e