

**Задачи заключительного тура олимпиады по химии 2021/22 уч.г.  
9–10 класс**

**Задача 1. Растворимость (7 б)**

Пронумерованные пробирки содержат порошки меди, оксида цинка, сульфата меди (II), карбоната натрия, карбоната магния, нитрата калия и сульфата лития. Все вещества в пробирках белые, кроме пробирки № 1.

- a) Напиши формулу вещества, содержащегося в пробирке № 1. (0,5)  
Вещества в пробирках 2–5 растворяются при добавлении воды. В пробирке № 2 образуется синий раствор, а в пробирках № 3–5 – бесцветные растворы.
- b) Напиши формулу вещества, содержащегося в пробирке № 2. (0,5)  
При добавлении  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  к растворам, образовавшимся в пробирках № 3–5, только в пробирке № 3 осадка не появилось, в других пробирках выпадали в осадок белые соли (**реакции i–ii**). Если к растворам, образовавшимся в пробирках № 3–5 добавить синий раствор из пробирки № 2, то только в пробирке 4 образуется зеленый осадок (**реакция iii**).
- c) Напиши формулы веществ, содержащихся в пробирках № 3–5. (1,5)  
При добавлении раствора  $\text{NaOH}$  к нерастворимым в воде порошкам только в пробирке № 6 протекает реакция, в результате которой образуется координационное соединение (**реакция iv**).
- d) Напиши формулу вещества, содержащегося в пробирке № 6. (0,5)
- e) Напиши уравнения реакций **i–iv** и расставь коэффициенты. (4)

**Задача 2. Квадратная кислота (8 б)**

Квадратная кислота – органическая кислота, которая содержит только атомы углерода, водорода и кислорода. При сжигании 1,000 г квадратной кислоты образуется 0,1580 г воды и  $0,8693 \text{ дм}^3$  углекислого газа при 100 кПа и 25 °C.  $pV = nRT$ ,  $R = 8,314 \text{ м}^3 \cdot \text{Па} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$ .

- a) Определите эмпирическую и молекулярную формулы квадратной кислоты, если известно, что ее молярная масса больше, чем у уксусной кислоты, и меньше, чем у бензойной кислоты. (2)
- b) Нарисуйте структурную формулу квадратной кислоты, если известно, что она не содержит группу  $\text{COOH}$ . (1)
- c) Нарисуй структурные формулы **четырех** возможных изомеров квадратной кислоты. (4)
- d) Объясни, почему квадратная кислота является относительно сильной органической кислотой ( $K_{\text{a}1} = 3 \cdot 10^{-2}$ ). (1)

**Задача 3. Литий-ионный аккумулятор (8 б)**

В Li-ионных аккумуляторах проходят 2 полуреакции. Первая полуреакция протекает с оксидом кобальта (IV), допированным ионами лития, в результате чего образуется оксид **A**, в котором степень окисления кобальта равна III. Вторая полуреакция протекает на графитовом электроде, в ходе чего высвобождаются ионы лития из нейтрального графитного комплекса ( $\text{LiC}_6$ ).

Такие реакции позволяют ионам лития проходить через электролит между двумя электродами, в то время как электроны проходят через внешнюю цель. Известным электролитом является раствор соли лития. Чаще всего используется соль **B** (массовое содержание  $w_{\text{Li}} = 4,57\%$ ), в которой анион состоит из двух элементов. Она легко гидролизуется в воде с образованием фторида лития и кислот **B** и **C**. Кислота **B** широко используется в моющих средствах и пищевой промышленности. Кислота **C** очень едкая и токсичная.

- a) Напиши уравнения двух полуреакций, происходящих в Li-ионном аккумуляторе. (1)
- b) Определи при помощи расчетов формулу вещества **B**. (2)
- c) Напиши уравнение реакции гидролиза вещества **B** и расставь коэффициенты. (1)
- Мобильный телефон оснащен литий-ионным аккумулятором емкостью 2800 мА·ч и его заряжают током 1,80 А.  $F = 96485 \text{ А} \cdot \text{с} \cdot \text{моль}^{-1}$ .
- d) Рассчитай, сколько времени теоретически уйдет на полную зарядку такого аккумулятора? (1)
- e) Рассчитай минимальную массу (г) электродов **i**) из оксида кобальта (IV) и **ii**) из графита. (3)

#### **Задача 4. Калориметрия (9 б)**

Калориметрия – это метод определения удельной теплоемкости ( $c$ ) и теплоемкости ( $C$ ), а также теплового эффекта различных процессов. Калориметр состоит из сосуда, наполненного водой ( $C = 4,186 \text{ Дж г}^{-1} \text{ К}^{-1}$ ), мешалки и термометра. Юку решил измерить молярную энталпию растворения, т. е. количество теплоты, выделившееся или затраченное при растворении 1 моля вещества. Для определения внутренней теплоемкости калориметра он поместил в калориметр 100,0 г воды и добавил 2,000 г  $\text{NaNO}_3$  с энталпией растворения  $+20,50 \text{ кДж моль}^{-1}$ . В ходе этого опыта температура раствора понизилась на  $1,010^\circ\text{C}$ .

a) Покажи при помощи расчетов, что теплоемкость калориметра равна  $59,0 \text{ Дж К}^{-1}$ . (1)

Затем Юку определил энталпию растворения гидроксида натрия. Для этого он поместил в калориметр 100,0 г воды и добавил 2,000 г гидроксида натрия. В ходе этого эксперимента температура раствора повысилась на  $4,660^\circ\text{C}$ .

b) Рассчитай энталпию растворения гидроксида натрия ( $\text{кДж моль}^{-1}$ ). (2)

c) Предположи, будет ли энталпия растворения этих веществ в воде меньше или больше, чем  $0 \text{ кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$ : i)  $\text{HNO}_3$ , ii)  $\text{KOH}$ , iii)  $\text{O}_2$ , iv)  $\text{AgCl}$ . (2)

В следующем эксперименте Юку использовал вместо воды 100,0 г 0,500 М раствора соляной кислоты ( $c \approx 4,186 \text{ Дж}\cdot\text{г}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$ ). В этом опыте температура раствора повысилась на  $10,7^\circ\text{C}$  после добавления 2,000 г гидроксида натрия.

d) Рассчитай изменение энталпии в реакции нейтрализации ( $\text{кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$ ). (2)

e) Предскажи, будет ли изменение энталпии реакций нейтрализации для следующих веществ меньше, равно или больше, чем изменение энталпии реакции нейтрализации  $\text{NaOH}$  и  $\text{HCl}$ : i)  $\text{HNO}_3 + \text{KOH}$ , ii)  $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{KOH}$ , iii)  $\text{HCl} + \text{NH}_4\text{OH}$ , iv)  $\text{TlOH} + \text{HI}$ . (2)

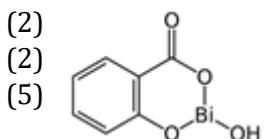
#### **Задача 5. Изменения цвета (9 б)**

Наиболее устойчивыми и известными оксидами металла **X** являются **Y** (массовое содержание  $w_x = 68,4\%$ ) и **Z** ( $w_x = 52,0\%$ ). Оксид **Y** представляет из себя зеленое кристаллическое вещество, встречающееся в природе в виде зеленоватого минерала. Он образуется в результате реакции металла **X** с кислородом. Оксид **Y** не реагирует с водой, но реагирует с соляной кислотой с образованием соли **A** (реакция 1) и с концентрированным гидроксидом натрия с образованием координационного соединения **B** (реакция 2). При окислении оксида **Y** веществом  $\text{KClO}_3$  в присутствии  $\text{K}_2\text{CO}_3$  получается соединение **C** светло-желтого цвета, бесцветный газ и белая соль (реакция 3). Обработка **C** разбавленной серной кислотой дает ярко-оранжевое соединение **D** (реакция 4). При взаимодействии **D** с концентрированной серной кислотой кристаллизуется оксид **Z** (реакция 5).

a) При помощи вычислений определи металл **X**. (2)

b) Напиши формулы веществ **A–D**. (2)

c) Напиши уравнения реакций 1–5 и расставь коэффициенты. (5)



#### **Задача 6. Pepto-bismol (10 б)**

Pepto-bismol – это одно из популярных лекарств в группе антацидов. Антациды уменьшают жжение и боль, вызванные повышенной кислотностью в желудке. В состав таблеток Pepto-bismol входят **субсалцилат висмута** (см. рисунок), маннитол, **карбонат кальция**, растворимый крахмал и глюкоза. Содержимое всей пачки Pepto-bismol (24 таблетки общим весом 39,6000 г) растворили в 155,550 г концентрированной кислоты  $\text{HCl}$ . Выделился газ **A** (реакция 1) и выпала в осадок кислота **B** (реакция 2). Общая масса осадка и раствора составила 193,040 г. Элементарный анализ показал, что соединение **B** содержит по массе 60,87% углерода, 4,38% водорода и 34,75% кислорода. К оставшемуся раствору добавили алюминиевую фольгу, на поверхности которой образовался темный осадок **C** (реакция 3). Получили 7,272 г металлического порошка **C**.

a) Рассчитай массу (мг)  $\text{CaCO}_3$  в одной таблетке Pepto-bismol. (2)

b) Рассчитай химический состав вещества **B** и напиши формулы веществ **A–C**. (2)

c) Напиши уравнения реакций 1–3 и расставь коэффициенты. (3)

d) Рассчитай массу (мг) **субсалцилата висмута** в одной таблетке Pepto-bismol. (2)

e) Рассчитай массу (г) вещества **B**. (1)

### **Задача 7. Гомеопатия (10 б)**

Гомеопатические препараты содержат минералы, продукты растительного и животного происхождения. Кроме того, гомеопатические препараты могут содержать ядовитые вещества, которые не опасны для человека, поскольку многократно разбавлены. Например, некоторые назальные капли содержат бинарное соединение  $\text{AB}_2$  и жидкость для полоскания рта содержит  $\text{C}_4\text{D}_6$  ( $M_{\text{C}} : M_{\text{D}} = 3,8 : 1$ ). **A** – серебристо-белый металл с темп. плавления  $-39^{\circ}\text{C}$ . Элемент **B** образует фиолетовое твердое вещество  $\text{B}_2$ , пары которого используются в тонкослойной хроматографии и проявлении отпечатков пальцев. **C** – это сероватый полуметалл, **D** – это желтый неметалл.

- a)** Напиши символы элементов **A–D**. (2)

На некоторых гомеопатических препаратах отмечено, что при изготовлении использовали водный раствор вещества  $\text{AB}_2$  в концентрации 15Х.

- b)** Оцени массу (г)  $\text{AB}_2$ , которую нужно добавить в Чудское озеро ( $V = 25 \text{ км}^3$ ), чтобы получить гомеопатическую концентрацию 15Х, то есть одну молекулу  $\text{AB}_2$  на  $10^{15}$  молекул воды. (2)

- c)** Оцени объем ( $\text{дм}^3$ ) 15Х р-ра  $\text{AB}_2$ , который содержит столько же элемента **A**, сколько и стакан воды ( $200 \text{ см}^3$ ) с максимальной допустимой концентрацией ионов **A**, равной  $1,0 \text{ мкг дм}^{-3}$ . (3)

Один из основных принципов гомеопатии состоит в том, что последовательное разбавление веществ, используемых в препарате, увеличивает его силу. Поэтому реальные концентрации химических веществ в гомеопатических препаратах могут достигать 200Х, то есть 1 молекулу вещества на  $10^{200}$  молекул растворителя.

- d)** Рассчитай число молекул  $\text{C}_4\text{D}_6$ , которое потребляет человек за год, если ежедневно выпивает  $10 \text{ см}^3$  24Х  $\text{C}_4\text{D}_6$  спиртового раствора ( $\rho = 935 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$ ,  $m(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) : m(\text{H}_2\text{O}) = 374 \text{ г} : 1,000 \text{ кг}$ ). (3)

### **Задача 8. Верно или неверно? (10 б)**

Ответь на следующие вопросы и подтверди свой выбор расчетами (в единицах Гт  $\text{CO}_2$  в день) на основе приведенных данных. Человечество производит примерно 50 Гт  $\text{CO}_2$  в год. Индустрия дает 40 Мт  $\text{CO}_2$  в день, потребление энергии зданиями – 168 Мт  $\text{CO}_2$  в неделю, отрасли производства продуктов питания – 840 Мт  $\text{CO}_2$  в месяц. Авиация дает 107 кт  $\text{CO}_2$  в час, судоходство – 2,2 Мт  $\text{CO}_2$  в день, наземный грузовой транспорт – 46 Мт  $\text{CO}_2$  в неделю, а наземный пассажирский транспорт – 300 Мт  $\text{CO}_2$  в месяц. Поголовье коров равно 1 млрд, и каждая ежедневно выделяет до 350 г метана в день, эквивалентных 30 кг  $\text{CO}_2$ . В мире насчитывается 1 млрд легковых автомобилей, которые в среднем выделяют 3000 кг  $\text{CO}_2$  в год. В год всего десять вулканов (включая Этну) выделяют 18,5 Тг  $\text{CO}_2$ , еще 20 вулканов – 20,0 млрд кг  $\text{CO}_2$ , и оставшиеся вулканы – примерно 14,8 Мт  $\text{CO}_2$ . Площадь суши без Антарктиды равна 135 млн  $\text{km}^2$ . Из них около 27% и 3% занимают леса и болота. Предположим, что в среднем за один год 1  $\text{m}^2$  как лесов, так и болот поглощает приблизительно 0,5 кг  $\text{CO}_2$ .

- a)** Верно ли, что метан, выделяемый коровами, в большей мере влияет на потепление климата, чем легковые автомобили? Подтверди расчетами. (2)

- b)** Верно ли, что главным источником антропогенных выбросов  $\text{CO}_2$  является авиация? Подтверди расчетами. (2)

- c)** Верно ли, что выброс 8000 т  $\text{CO}_2$  в атмосферу при извержении вулкана Энта был больше выбросов  $\text{CO}_2$  всего наземного грузового и пассажирского транспорта за тот же день? Подтверди расчетами. (2)

- d)** Верно ли, что выброс  $\text{CO}_2$  в атмосферу всеми вулканами в течении года больше выброса  $\text{CO}_2$  за год от всего транспорта? Подтверди расчетами. (2)

- e)** Верно ли, что (вос)созданием только болот и лесов можно достичь углеродной нейтральности? Подтверди расчетами. (2)

**Задача 9. Равновесие (12 б)**

В результате разложения  $\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  при  $780^\circ\text{C}$  в закрытом сосуде ( $V = 2,00 \text{ дм}^3$ ) образовалось равновесие между  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$  и  $\text{CO}$ , а давление поднялось с 0 до  $400 \text{ кПа}$ .  $R = 8,314 \text{ кДж}\cdot\text{моль}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$ .

**a)** Закончи уравнения реакций: i)  $\underline{\text{CO}} + \underline{\text{H}_2\text{O}} \rightleftharpoons \underline{\text{CO}_2} + \underline{\dots\dots}$  (0,5)

ii)  $\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \underline{\text{CaO}} + \underline{\text{CO}_2} + \underline{\text{H}_2\text{O}} + \underline{\dots\dots}$  (0,5)

**b)** Рассчитай массу (г) разложившегося  $\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . (2)

**c)** Рассчитай изменения энталпии  $\Delta_rH^\circ$  ( $\text{кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$ ) и изменение энтропии  $\Delta_rS^\circ$  ( $\text{Дж}\cdot\text{моль}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$ ) для реакции **i)** при  $298 \text{ K}$  ( $25^\circ\text{C}$ ). (2)

	CO(г)	H <sub>2</sub> O(г)	CO <sub>2</sub> (г)	H <sub>2</sub> (г)
$\Delta_fH^\circ [\text{кДж}\cdot\text{моль}^{-1}]$	-110,5	-241,8	-393,5	0
$S_m^\circ [\text{Дж}\cdot\text{моль}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}]$	197,7	188,8	213,8	130,7

**c)** Рассчитай свободную энергию  $\Delta_rG^\circ$  ( $\text{кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$ ) реакции **i)** при температуре  $780^\circ\text{C}$ . (1)

**d)** Рассчитай константу равновесия ( $K$ ) для реакции **i)** при  $780^\circ\text{C}$ , допуская, что энталпия и энтропия реакции не зависят от температуры.  $K = 10^a$ ,  $a = -0,434 \cdot \Delta G / (RT)$ . (1)

**e)** Рассчитай парциальное давление (кПа) CO, H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>. Игнорируй объем CaO. Если ты не сумел рассчитать значение в пункте **d)**, используй  $K = 0,60$ . (5)