

**Задачи регионального тура олимпиады по химии 2020/2021 уч. г.  
10 класс**

**Задача 1. Тест (11 б)**

- а)** Определи степень окисления (с.о.) элементов выделенных **жирным шрифтом** в соответствующих соединениях. (2)

С.о. элемента				
Формула соединения	<b>Ca</b> (Cl <b>O</b> ) <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> [ <b>Si</b> F <sub>6</sub> ]	[ <b>Co</b> (H <sub>2</sub> O) <sub>6</sub> ] <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub> <b>I</b> <sub>3</sub>

- б) i)** Подчеркни те вещества, добавление которых к воде изменит её pH.  
N<sub>2</sub>O, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub>, Ba(OH)<sub>2</sub>, CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>OH, CH<sub>3</sub>COOH, NH<sub>4</sub>Cl, Na<sub>2</sub>S, KNO<sub>3</sub>, AgCl  
*Подчеркнув вещество, при добавлении которого pH не изменится, потеряешь пункты.* (2)
- ii)** После добавления какого(их) из подчеркнутых в подпункте **i)** веществ водная среда станет щелочной? (1)
- в)** Расставь в порядке возрастания температуры кипения вещества в каждом из следующих перечней. Объясни изменения в температурах кипения веществ в обоих перечнях, исходя из встречающихся в данных веществах межмолекулярных сил/связей и их прочности.
- i)** Cl<sub>2</sub>, F<sub>2</sub>, Br<sub>2</sub>
- ii)** H<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub> (2)
- д)** Рассчитай для 0,90% раствора NaOH **i)** молярную концентрацию ( $\rho(\text{раствор}) = 1,0 \text{ г}\cdot\text{см}^{-3}$ ) и **ii)** pH. (2)
- е)** Расставь коэффициенты в следующих уравнениях реакций:
- i)** ...NH<sub>3</sub> + ...O<sub>2</sub> → ...NO + ...H<sub>2</sub>O
- ii)** ...S + ...NaOH → ...Na<sub>2</sub>S + ...Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> + ...H<sub>2</sub>O
- iii)** ...Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + ...NaOH + ...H<sub>2</sub>O → ...Na[Al(OH)<sub>4</sub>]
- iv)** ...KIO<sub>3</sub> + ...KI + ...HCl → ...I<sub>2</sub> + ...KCl + ...H<sub>2</sub>O (2)

**Задача 2. Определение содержания кальция в известняке (10 б)**

Содержание кальция в известняке (CaCO<sub>3</sub>) с примесью кварца (SiO<sub>2</sub>) определяли методом осаждения. Для этого к 128,1 г известняка добавляли HCl, до тех пор, пока весь карбонат кальция не прореагировал. После этого из смеси отделили фильтрованием непрореагировавший осадок SiO<sub>2</sub>. Затем фильтрат разбавили дистиллированной водой и добавили в качестве осаждающего реагента соль одной органической кислоты. Анион этой соли состоит только из атомов двух элементов и при его реакции с ионами кальция образуется нерастворимая в воде соль **X**. Массовое содержание кальция, углерода и кислорода в соли **X** равно  $w_{\text{Ca}} = 31,29\%$ ,  $w_{\text{C}} = 18,75\%$  и  $w_{\text{O}} = 49,96\%$  соответственно. Соединение **X**, являясь гигроскопичным, в присутствии воды быстро образует гидрат **Y**, в котором  $w_{\text{O}} = 54,75\%$ .

- а)** Определи брутто-формулу соли **X** при помощи вычислений. (2)
- б)** Определи брутто-формулу гидрата **Y** при помощи вычислений. (2)
- Образовавшийся осадок, содержащий соединения **X** и **Y**, высушили и взвесили, в результате чего установили, что вес высушенного осадка равен 161,15 г. Для определения содержания ионов кальция, осадок нагревали при 773 К и давлении 101,325 кПа. При нагревании выделилось 94,50 дм<sup>3</sup> смеси водяного пара и монооксида углерода, и образовалось 122,11 г CaCO<sub>3</sub>. *Предположи, что действует уравнение состояния идеального газа:  $pV = nRT$  и  $R = 8,314 \text{ Дж}\cdot\text{моль}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$*
- в)** Определи количество молей газов в смеси, образовавшейся после нагревания. (1)
- д)** Рассчитай количество молей соли **X** и гидрата **Y** в высушенном осадке. *Предположи, что водяной пар выделившийся при нагревании, происходил только из гидрата **Y**.* (2)
- е)** Рассчитай содержание кальция в изучаемом известняке (в массовых процентах). (2)

- f) Рассчитай, сколько тонн проанализированного известняка необходимо добыть, чтобы произвести *ровно* одну тонну негашёной извести (CaO). *Предположи, что процесс происходит без потерь.* (1)

### Задача 3. Соединения галогенов (12 б)

При нормальных условиях **A** – это газообразное простое вещество, при реакции которого с водородом образуется соединение **B** (реакция 1). Как **A**, так и **B** реагируют с водным раствором NaOH. В реакции **A** с NaOH при низких температурах образуются соединения **C**, **D** и вода (реакция 2). При высоких температурах **D** разлагается на соединения **E** и **C** (реакция 3). Соединение **E** – это бесцветное и гигроскопичное кристаллическое вещество, массовое содержание кислорода в котором  $w_0 = 45,09\%$ . При восстановлении вещества **E** с помощью  $SO_2$  (реакция 4) образуется  $Na_2SO_4$  и оксид **F** ( $w_0 = 47,44\%$ ). **F** – это сильный окислитель, который используется, например, для отбеливания целлюлозы и бумаги, а также для очистки питьевой и технической воды. Более 90% производимого **E** используется как раз в производстве **F**. При высокой температуре соединение **E** экзотермически разлагается с образованием **C** и высвобождением кислорода. Эту реакцию катализируют оксиды переходных металлов. При нагревании без катализатора (реакция 5) образуются соединения **C** и **G** ( $w_0 = 52,27\%$ ). **G** – это хорошо растворимое в воде кристаллическое вещество.

- a) Определи соединения **A–G** и напиши их названия. (7)  
 b) Напиши упомянутые в тексте уравнения реакций 1–5. (5)

### Задача 4. Энергетика водорода (9 б)

В водороде видят решение многих проблем современной энергетической отрасли. Один из способов сохранения энергии в водороде – это электролиз воды.

- a) Напиши уравнения полуреакций, происходящих на аноде и катоде при электролизе водного раствора NaOH, а также напиши суммарное уравнение происходящей реакции. (2)

В одной из производственных установок электролиза воды, т.е. электролизёре, скорость производства водорода равна  $10 \text{ кг}\cdot\text{ч}^{-1}$ , при коэффициенте полезного действия 81%.

- b) Рассчитай, какова должна быть сила тока в используемом в электролизёре. ( $F = 96485 \text{ Кл}\cdot\text{моль}^{-1}$  и  $1 \text{ Кл} = 1 \text{ А}\cdot\text{с}$ ) (2)  
 c) Рассчитай, сколько кВт·ч электроэнергии расходуется на производство  $10 \text{ кг}$  водорода, если среднее напряжение в электролизёре равно  $1,6 \text{ В}$ . ( $1 \text{ Вт} = 1 \text{ Дж}\cdot\text{с}^{-1} = 1 \text{ В}\cdot\text{А}$ ) (1)

Производство водорода при помощи электролиза воды выгодно только в случае использования дешёвой электроэнергии.

- d) Оцени экономическую выгодность производства водорода, рассчитав разницу от продажи  $1,0 \text{ кг}$  водорода и стоимости электроэнергии, использованной для его производства. Средняя цена за  $1 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$  электроэнергии равна  $0,060 \text{ €}$ , а цена  $1,0 \text{ кг}$  водорода –  $3,0 \text{ €}$ . (1)

Из-за низкой плотности водорода при нормальных условиях, его хранят под высоким давлением в виде газа, в сжиженном виде или же сохранённым в гидридах металлов или пористых материалов. В жидком состоянии плотность водорода равна  $70,9 \text{ г}\cdot\text{дм}^{-3}$  (при  $20 \text{ К}$ ).

- e) Рассчитай, во сколько раз объём сжиженного водорода меньше, чем объём газообразного водорода при  $121300 \text{ Па}$  и температуре  $30 \text{ °C}$ ? *Предположи, что для газообразного водорода действует уравнение состояния идеального газа:  $pV = nRT$ , где  $R = 8,314 \text{ Дж}\cdot\text{моль}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$ .* (2)

Поскольку сжижение водорода – это экономически затратный процесс, а хранение водорода требует специальных технологий, научная работа по поиску альтернативных методов хранения водорода не прекращается.

- f) Закончи и расставь коэффициенты в уравнении реакции, описывающей получение водорода из гидрида магния:  $\dots\text{MgH}_2 + \dots\text{H}_2\text{O} \rightarrow \dots + \dots$  (1)

### Задача 5. Неизвестный сплав (8 б)

Кусочек сплава, состоящего из свинца и металла **M**, отправили в лабораторию контроля качества для определения его точного состава. Лаборант взял для анализа от кусочка пробу ( $m_{\text{проба}} = 0,4024$  г) и нагревал её в смеси концентрированных соляной и азотной кислот, до тех пор, пока сплав полностью не прореагировал. В процессе произошедших реакций металлы из сплава окислились, образовав соединения  $\text{Pb(II)}$  и  $\text{M(IV)}$ , некоторые из которых выпали в осадок при охлаждении смеси. Затем лаборант добавил к смеси *избыток* ( $25,00 \text{ см}^3$ )  $0,2000 \text{ M}$  водного раствора натриевой соли этилендиаминтетраацетата (EDTA). EDTA прореагировал со всеми частицами  $\text{Pb(II)}$  и  $\text{M(IV)}$ , как в растворе, так и в осадке, в результате чего образовались растворимые в воде соединения. При этом в растворе остался *избыток* непрореагировавшего EDTA. Лаборант количественно перенёс раствор в  $250,0 \text{ см}^3$  мерную колбу, довёл дистиллированной водой до метки и перемешал. После этого он отмерил  $25,00 \text{ см}^3$  полученного раствора в колбу для титрования, добавил к нему индикатор и буферный раствор, чтобы во время титрования pH оставалось неизменным. В качестве титранта он использовал водный раствор нитрата свинца(II), для приготовления которого он взвесил  $0,3319 \text{ г Pb(NO}_3)_2$  и растворил его в воде так, чтобы конечный объём раствора был ровно  $100,00 \text{ см}^3$ . В процессе титрования оставшийся в растворе *избыток* EDTA прореагировал с  $\text{Pb}^{2+}$  ионами титранта. На титрование ушло  $24,12 \text{ см}^3$  титранта. Для того чтобы определить содержание каждого металла в сплаве, лаборант провёл ещё одно титрование. Для этого он добавил к раствору, полученному в конце предыдущего титрования,  $\text{NaF}$ , в результате чего высвободился весь EDTA, ранее связанный с металлом **M**. Высвободившийся EDTA он оттитровал тем же титрантом, которого на этот раз ушло  $14,98 \text{ см}^3$ .

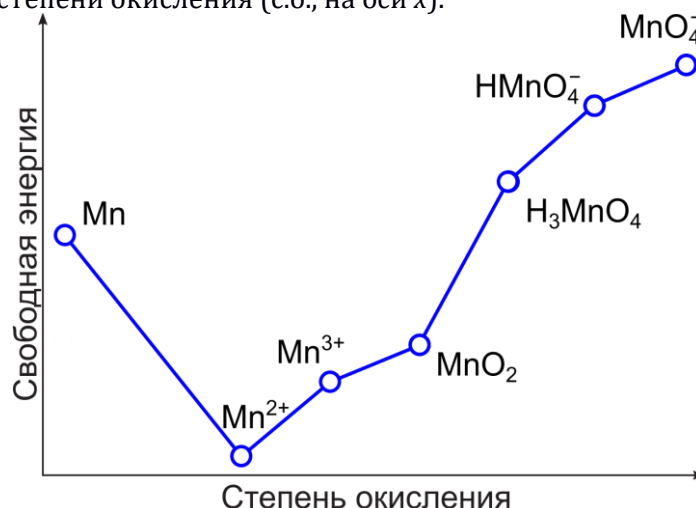
*NB! EDTA реагирует со всеми ионами металлов в данной задаче в соотношении 1:1.*

- Закончи и расставь коэффициенты в уравнении реакции металла **M** с концентрированной азотной кислотой, учитывая, что в образующемся оксиде азота степень окисления азота равна IV:  $\dots\text{M} + \dots\text{HNO}_3 \rightarrow \dots\text{H}_2\text{MO}_3 + \dots + \dots$  (1)
- Рассчитай концентрацию ( $M$ ) титранта (водный раствор  $\text{Pb(NO}_3)_2$ ). (1)
- Рассчитай **i)** суммарное число молей  $\text{Pb}$  и металла **M** содержащихся в пробе и **ii)** число молей каждого из металлов по отдельности. (4)
- Рассчитай массовое содержание в процентах для  $\text{Pb}$  и металла **M** в сплаве. (1)
- Определи при помощи вычислений металл **M**. (1)

### Задача 6. Химия марганца и рения (20 б)

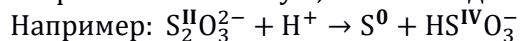
#### I часть — Марганец

Для описания окислительно-восстановительных свойств элементов можно использовать диаграмму Фроста, которая описывает устойчивость частиц, содержащих элемент в различных степенях окисления. Чем меньше свободная энергия (на оси  $y$ ), тем стабильнее частица в данной степени окисления (с.о., на оси  $x$ ).

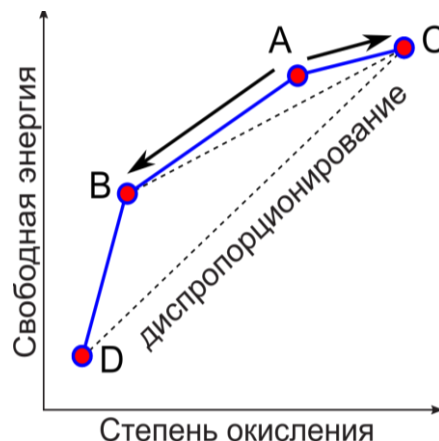


- а) При помощи диаграммы Фроста, описывающей марганец и его соединения, определи наиболее устойчивую степень окисления марганца в водном растворе. (0,5)

Используя диаграмму Фроста, можно предсказать, каким образом может меняться с.о. элемента в ходе реакций. *Диспропорционирование* – это окислительно-восстановительная реакция, в ходе которой один элемент одновременно как окисляется, так и восстанавливается. Из исходного вещества образуется два продукта, причем один из продуктов имеет более высокую с.о. элемента, а второй – более низкую, чем в исходном веществе.



Если на диаграмме некоторая частица расположена выше линии, соединяющей две другие частицы, то она диспропорционирует с образованием тех самых частиц (см рисунок сбоку). Например, судя по рисунку, соединение **A** может *диспропорционировать* на **B** и **C** или **D** и **C**.

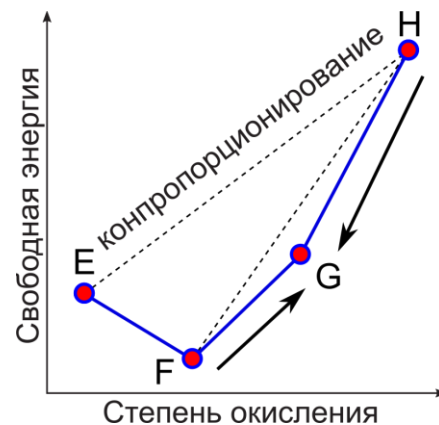


- б) Выпиши частицы, содержащие марганец, которые, согласно диаграмме Фроста, диспропорционируют. (1,5)

Если же частица расположена ниже линии, соединяющей две другие частицы, то эти две частицы реагируют между собой с образованием частицы, расположенной ниже соединяющей их линии.

Такую реакцию называют *конпропорционированием* (см рисунок сбоку). Конпропорционирование – это окислительно-восстановительная реакция, в ходе которой из двух исходных вещества, содержащих один и тот же элемент, образуется один продукт, причем в одном исходном веществе элемент имеет более высокую с.о., а в другом – более низкую, чем в продукте.

Например:  $I^{V}O_3^- + 5I^- + 6H^+ \rightarrow I_2^0 + 3H_2O$   
 Например, судя по рисунку, соединения **F** и **H** могут *конпропорционировать* в **G**, а **E** и **H** – в **F** или **G**.



- с) Определи для каждой марганецсодержащей частицы на диаграмме Фроста, в скольких реакциях конпропорционирования (в таблице: число реакций) может образоваться данная частица. Заполни таблицу. (3,5)

Частица	Mn	Mn <sup>2+</sup>	Mn <sup>3+</sup>	MnO <sub>2</sub>	H <sub>3</sub> MnO <sub>4</sub>	HMnO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	MnO <sub>4</sub> <sup>-</sup>
Число реакций							

- д) Какие соединения марганца останутся в растворе после смешивания трех растворов, содержащих соответственно по 1 моль Mn<sup>2+</sup>, Mn<sup>3+</sup> и MnO<sub>4</sub><sup>-</sup>. Напиши уравнения происходящих реакций. *Подсказка: в реакциях также участвует H<sub>2</sub>O.* (3,5)

## II часть — Рений

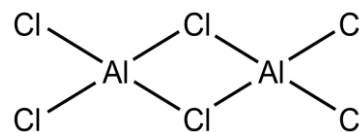
Из хлоридов рения известны, например, соединения **X**, **Y** и **Z**. Хлорид **X**, содержание Cl по массе в котором  $w_{Cl} = 48,77\%$ , образуется в ходе реакции рения с Cl<sub>2</sub>. При разложении **X** образуется **Y** ( $w_{Cl} = 36,35\%$ ) и хлор. При конпропорционировании **X** и **Y** образуется хлорид **Z**.

- е) При помощи вычислений определи эмпирические формулы соединений **X-Z**. *Эмпирическая формула показывает простое целочисленное соотношение атомов*

элементов, присутствующих в соединении. Например, эмпирическая формула  $P_4O_{10}$  – это  $P_2O_5$ . (3)

Структуры молекул **X** и **Y** сложнее, чем можно было бы предположить, посмотрев на соответствующие им эмпирические формулы:

- У атомов рения в хлоридах **X** и **Y** одинаковое число соседних атомов.
- Молекулярную структуру соединения **X** можно описать формулой  $[Cl_aRe(\mu-Cl)]_2$ , где  $\mu-Cl$  обозначает мостиковую связь  $Re-Cl-Re$ . Похожая мостиковая связь присутствует в молекулярном хлориде алюминия  $[Cl_2Al(\mu-Cl)]_2$  (см рисунок сбоку).
- Молекулярную структуру соединения **Y** можно описать формулой  $[Cl_bRe(\mu-Cl)]_3$ . В этом соединении три двойных  $Re-Re$  связи.



**f)** Нарисуй структурные формулы хлоридов **X** и **Y**. (2)

При реакции хлорида **Y** с  $CaCl_2$  образуются две соли, причем в обеих  $w_{Ca} = 5,76\%$  и  $w_{Re} = 53,50\%$ . При реакции хлорида **Z** с  $CaCl_2$  образуется соль с  $w_{Ca} = 5,23\%$  и  $w_{Re} = 48,56\%$ . Анионы этих солей (соответственно **1**, **2** и **3**) имеют сложное строение и содержат несколько атомов рения. Количество атомов  $Re$  в анионе **2** на один больше, чем в анионах **1** и **3**.

**g)** Определи при помощи вычислений брутто-формулы анионов **1–3**. (3)

В структурах анионов **1–3** между атомами рения присутствуют кратные связи:

- В анионе **1** имеется четырехкратная  $Re-Re$  связь. Существование столь высокой кратности долгое время оставалась под сомнением. Определение структуры аниона **1** в 1960-х спровоцировало исследования комплексов с четверной связью элемент–элемент.
- Структура аниона **2** подобна структуре молекулы **Y** – в ней также присутствуют три двойные связи  $Re-Re$ .
- В анионе **3** между атомами рения имеется тройная связь.

**h)** Нарисуй структурные формулы анионов **1–3**, показывая кратность связи  $Re-Re$ . (3)