

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

Задача 1. День рождения (10 б)

- a)** На свой день рождения любознательная Cho (Чжоу) приготовила для гостей морс. В первый раз раствор сахарного сиропа получился слишком сладкий, а во второй – слишком разбавленный. Рассчитай массовый процент сахара в растворе, полученном смешением 500 граммов 20% раствора сахара и 1,00 килограмма 5,0% раствора сахара. (2)
- b)** Родители удивили Cho изумительным тортом, украшенным структурными формулами веществ, содержащих элементы С, Н и О. Нарисуй структурные формулы $\text{CO}(\text{OH})_2$ и CH_3OH . (2)
- c)** В качестве подарка Cho получила рН-метр, который она уже давно хотела. Cho добавила в воду следующие вещества: BaO , SiO_2 , $\text{Zn}(\text{OH})_2$, Al_2O_3 , H_2 , KCl , HClO_4 , CsOH , SO_3 , Ag .
После этого Cho измерила рН смеси каждого вещества с водой. Напиши формулы веществ, которые дали **i)** кислую среду, а какие – **ii)** щелочную среду. (2)
- d)** Вдобавок Cho получила в подарок на день рождения мерный цилиндр. Его она использовала для определения объёма кислорода, выделяющегося при разложении перекиси водорода (H_2O_2), найденного в аптечке. Помимо кислорода при разложении H_2O_2 образуется вода.
i) Напиши уравнение реакции разложения H_2O_2 и расставь коэффициенты. (1)
ii) Рассчитай первоначальное процентное содержание H_2O_2 по массе в водном растворе, если из 7,50 г раствора при комнатной температуре выделилось 79 см³ O_2 ($V_m = 24,0$ дм³/моль). (3)

Задача 2. Выхлопные газы (10 б)

В промышленных процессах и при сгорании топлива образуются выхлопные газы. Они оказывают пагубное влияние на окружающую среду, например, вызывают глобальное потепление и кислотные дожди. Также они пагубно влияют на здоровье живых организмов. Известными выхлопными газами являются оксиды **A–E**, из которых **A** и **B** содержат один и тот же неметаллический элемент **X**. Соединения **A** и **C** являются нейтральными оксидами, **B**, **D** и **E** – кислотными оксидами. В таблице приведено процентное содержание кислорода в оксидах по массе (w_0).

Соединение	A	B	C	D	E
w_0 (%)	57,1	72,7	53,3	69,6	50,0

Оксид **A** – это ядовитый газ, который препятствует транспорту кислорода в организме человека. При растворении оксида **B** в воде образуется слабая кислота **F** (**реакция 1**). Растворы **B** очень много производятся в пищевой промышленности. При реакции оксида **D** с горячей водой образуется кислота **G** и оксид **C** (**реакция 2**). Кислота **G** находит широкое применение в химической промышленности, при этом примерно 75% от её производства уходит на синтез удобрений. Оксид **E** используется для промышленного производства сильной кислоты **H** в реакции с водой и кислородом (суммарная **реакция 3**). Кислоту **H** используют, например, в свинцовых аккумуляторах, а также для получения оксида **I** ($w_0 = 68,94\%$). У оксида **I** множество применений в производстве стекла, керамики и волоконных световодов.

- a) i)** Напиши формулы оксидов **A–E**. (5)
ii) Определи при помощи расчётов формулу оксида **I**. (2)
- b)** Напиши уравнения **реакций 1–3** и расставь коэффициенты. (3)

Задача 3. Химические вулканы (10 б)

Учитель химии решил организовать для учеников 9-го класса интересный урок, продемонстрировав различные химические “вулканы”. В шкафах школьной лаборатории

учитель нашел следующие соединения $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, NaHCO_3 , Fe (порошок), KNO_3 , KClO_3 и бутылку с водным раствором уксусной кислоты (CH_3COOH). А из учительской он одолжил сахар ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$).

- а) Определи степень окисления (с.о.) элемента, который в соответствующем соединении выделен **жирным шрифтом**. (2)

С.о. элемента				
Формула соединения	KNO_3	$(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	KClO_3	NaHCO_3

Извержения вулканов учитель продемонстрировал в шкафу с вытяжкой. Касательно “извержений” ученики записали следующие наблюдения:

Реакция 1: Учитель тщательно перемешал исходные вещества и поджег их горелкой Бунзена. Извержение вулкана сопровождалось искрами и дымом.

Реакция 2: Для запуска извержения было достаточно смешать вещества между собой. Когда реакция пошла, вулкан начал интенсивно пузыриться и пениться.

Реакция 3: Для вызова извержения вулкана учитель поджёг исходное вещество при помощи горелки Бунзена. В результате искрящегося извержения вулкана наблюдалось образование темно-зеленого порошкообразного вещества.

Реакция 4: Учитель смешал в малых количествах два исходных вещества и добавил в полученную смесь пару капель концентрированной серной кислоты. Началась интенсивная реакция, сопровождаемая светлым пламенем.

Чтобы ученики получили на уроке новые знания, учитель составил таблицу протекающих реакций.

- б) Заполни ячейки таблицы формулами исходных веществ и продуктов **реакций 1–4** так, чтобы каждый ряд соответствовал уравнению реакции. В каждую ячейку напиши по одной формуле вещества. Некоторые вещества уже внесены в таблицу в качестве примера. (6)

*Подсказки: 1) каждое исходное вещество использовалось лишь один раз; 2) шесть **из пустых** ячеек для продуктов содержат оксиды, две ячейки содержат соли и одна – газообразное простое вещество; 3) всего в таблице отсутствуют оксиды трёх неметаллических элементов в с.о. I, II и IV.*

	Исходное вещество 1	Исходное вещество 2	Продукт 1	Продукт 2	Продукт 3
Реакция 1				K_2FeO_4	
Реакция 2					
Реакция 3					Cr_2O_3
Реакция 4					

- с) Коротко поясни, почему учитель проводил опыты в шкафу под вытяжкой. (1)

- д) Назови еще два правила техники безопасности, которым учитель и ученики должны были следовать. (1)

Задача 4. Фальшивое золото (10 б)

В лабораторию для анализа попал брусок металла, который предположительно являлся сплавом Au и Cu. В лаборатории измерили его объём ($667,6 \text{ см}^3$) и массу (10,00 кг), а затем, используя плотность, рассчитали возможное содержание золота в каратах по формуле:

$$\frac{1}{\rho(\text{сплав})} = \frac{K(\text{Au})}{24} \cdot \left(\frac{1}{\rho(\text{Au})} - \frac{1}{\rho(\text{Cu})} \right) + \frac{1}{\rho(\text{Cu})}$$

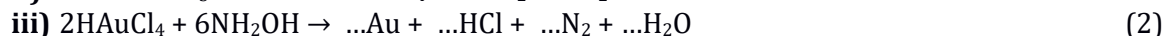
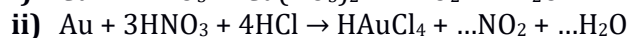
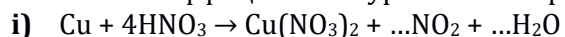
$\rho(\text{Au}) = 19,30 \text{ г/см}^3$, $\rho(\text{Cu}) = 8,96 \text{ г/см}^3$ и $K(\text{Au})$ – это содержания золота в сплаве в каратах. Карат – это единица измерения чистоты: 24 карата соответствует 100% чистому металлу, а 1 карат соответственно $\frac{1}{24} \cdot 100\% \approx 4\%$ металла в сплаве по массе.

- а) Рассчитай содержание золота в каратах для данного бруска металла по его плотности. (2)

Цвет сплава не отвечал рассчитанному в пункте а) содержанию золота, поэтому было

проведено определение точного химического состава. Для этого с поверхности бруска взяли пробу (20,0 мг) и подвергли реакции с царской водкой. Затем осадили перешедшее в раствор золото. Масса осаждённого золота составила 10,0 мг.

b) Расставь коэффициенты в уравнениях проведенных реакций.



c) Рассчитай процентное содержание по массе золота в пробе, взятой с поверхности бруска. (1)

После разрезания бруска металла пополам выяснилось, что сплав Au–Cu был подделан добавлением внутрь танталовых стержней. Тантал намного дешевле золота, при этом по плотности ($\rho(\text{Ta}) = 16,65 \text{ г/см}^3$) он примерно соответствует 21-каратному сплаву Au–Cu, благодаря чему тантал использовали для подделки, т.е. для понижения значения $K(\text{Au})$.

d) Рассчитай действительное $K(\text{Au})$, а также процентное содержание по массе меди и тантала в бруске металла, попавшего в лабораторию. (5)

Задача 5. Шампанское (10 б)

В закрытой бутылке шампанского наблюдается высокое парциальное давление CO_2 ($p(\text{CO}_2)_{\text{бутылка}}$), которое резко понижается при открытии бутылки. Парциальное давление CO_2 показывает, какое давление оказывает CO_2 в смеси газов. С понижением давления снижается и растворимость CO_2 и поэтому в шампанском образуются пузырьки CO_2 , вместе с которыми при открытии из бутылки разбрызгивается игристый напиток. В это же время $p(\text{CO}_2)_{\text{бутылка}}$ опускается до парциального давления CO_2 в атмосфере ($p(\text{CO}_2)_{\text{атм}} = 0,0004 \text{ атм}$). Обычно в бутылке содержится 7,5 г CO_2 и 0,75 дм³ шампанского.

a) Рассчитай объём 7,5 г CO_2 при нормальных условиях ($V_m = 22,4 \text{ дм}^3/\text{моль}$). (1)

b) Во сколько раз объём CO_2 , рассчитанный в подпункте **a)** больше объёма шампанского в бутылке? (1)

Процесс приготовления шампанского состоит из двух этапов брожения. В процессе брожения дрожжи преобразуют моносахарид ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) в этанол ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) и углекислый газ. На первом этапе брожение происходит в открытом сосуде и весь CO_2 , выделяющийся в процессе брожения, улетучивается. Второй этап брожения проходит в закрытой бутылке, где под действием выделяющегося CO_2 давление начинает расти.

c) Напиши уравнение реакции брожения и расставь коэффициенты. (1)

d) Рассчитай массу моносахарида, необходимую для **i)** второго и **ii)** первого этапа, чтобы получить шампанское, в котором содержится 7,5 г CO_2 и 74 г этанола. (3)

Растворимость газов описывает закон Генри. Чем выше парциальное давление газа (p , атм) над жидкостью, тем выше растворимость данного газа (c , г/дм³) в жидкости: $c = K_H \cdot p$, где K_H – это константа Генри, которая для CO_2 зависит от температуры следующим образом:

Температура (°C)	10	15	20	25
Константа Генри $\left(\frac{\text{г}}{\text{дм}^3 \cdot \text{атм}}\right)$	2,07	1,73	1,44	1,21

e) Рассчитай $p(\text{CO}_2)_{\text{бутылка}}$, т.е. парциальное давление газообразного CO_2 над жидкостью в горлышке закрытой бутылки, если при 10 °C в 0,75 дм³ шампанского растворено 7,4 г CO_2 . (1)

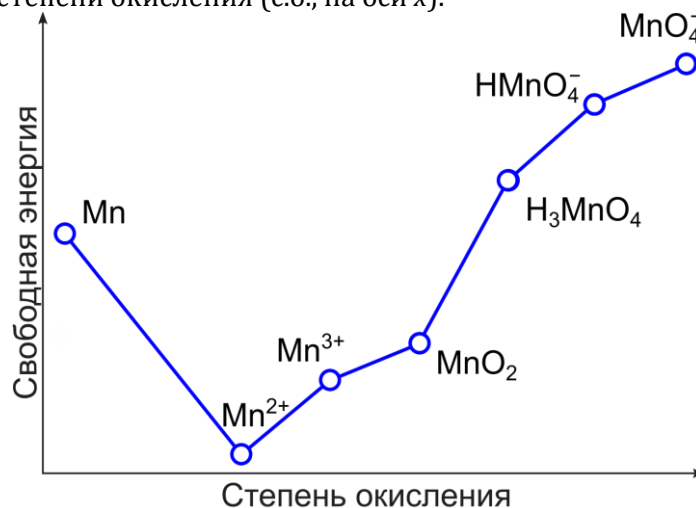
f) Рассчитай растворимость CO_2 в шампанском, простоявшем сутки в открытой бутылке при комнатной температуре (20 °C). Предположи, что $p(\text{CO}_2)_{\text{бутылка}}$ упало до $p(\text{CO}_2)_{\text{атм}}$. (1)

g) Выбери из вышеприведенной таблицы температуру, при которой при открытии бутылки **i)** разбрызжится больше всего шампанского, **ii)** образуется красивая пена без разбрызгивания напитка. Ответ обоснуй. (2)

Задача 6. Химия марганца и рения (20 б)

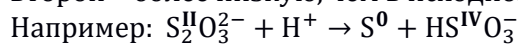
I часть — Марганец

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).

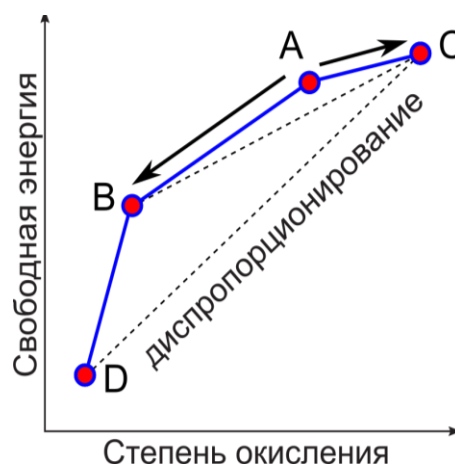


- а) При помощи диаграммы Фроста, описывающей марганец и его соединения, определи наиболее устойчивую степень окисления марганца в водном растворе. (0,5)

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.



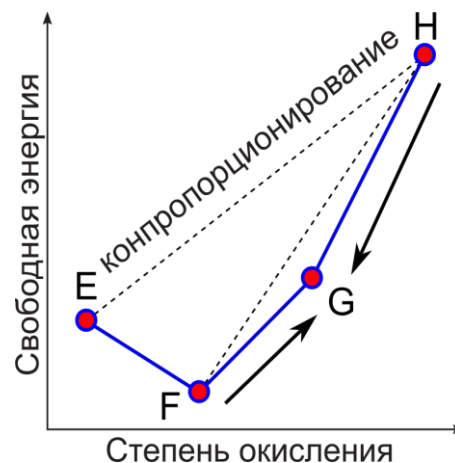
Если на диаграмме некоторая частица расположена выше линии, соединяющей две другие частицы, то она диспропорционирует с образованием тех самых частиц (см рисунок сбоку). Например, судя по рисунку, соединение **A** может *диспропорционировать* на **B** и **C** или **D** и **C**.

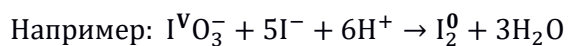


- б) Выпиши частицы, содержащие марганец, которые, согласно диаграмме Фроста, диспропорционируют. (1,5)

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, 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 ²⁺	Mn ³⁺	MnO ₂	H ₃ MnO ₄	HMnO ₄ ⁻	MnO ₄ ⁻
Число реакций							

- д)** Какие соединения марганца останутся в растворе после смешивания трех растворов, содержащих соответственно по 1 моль Mn²⁺, Mn³⁺ и MnO₄⁻. Напиши уравнения происходящих реакций. *Подсказка: в реакциях также участвует H₂O.* (3,5)

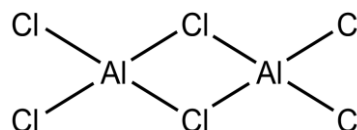
II часть — Рений

Из хлоридов рения известны, например, соединения **X**, **Y** и **Z**. Хлорид **X**, содержание Cl по массе в котором $w_{\text{Cl}} = 48,77\%$, образуется в ходе реакции рения с Cl₂. При разложении **X** образуется **Y** ($w_{\text{Cl}} = 36,35\%$) и хлор. При конпропорционировании **X** и **Y** образуется хлорид **Z**.

- е)** При помощи вычислений определи эмпирические формулы соединений **X-Z**. *Эмпирическая формула показывает простейшее целочисленное соотношение атомов элементов, присутствующих в соединении. Например, эмпирическая формула P₄O₁₀ – это P₂O₅.* (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(μ-Cl)]₂, где μ-Cl обозначает мостиковую связь Re–Cl–Re. Похожая мостиковая связь присутствует в молекулярном хлориде алюминия [Cl₂Al(μ-Cl)]₂ (см рисунок сбоку).
- Молекулярную структуру соединения **Y** можно описать формулой [Cl_bRe(μ-Cl)]₃. В этом соединении три двойных Re–Re связи.



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

При реакции хлорида **Y** с CaCl₂ образуются две соли, причем в обеих $w_{\text{Ca}} = 5,76\%$ и $w_{\text{Re}} = 53,50\%$. При реакции хлорида **Z** с CaCl₂ образуется соль с $w_{\text{Ca}} = 5,23\%$ и $w_{\text{Re}} = 48,56\%$. 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**.

- г)** 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)