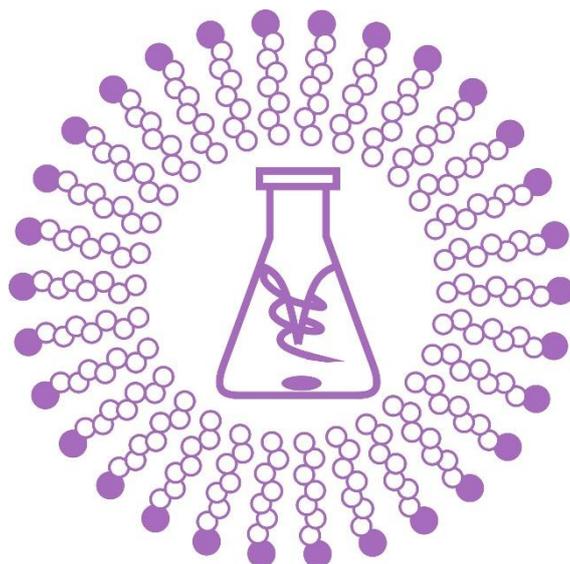


Комитет по образованию Санкт-Петербурга
Академия талантов Санкт-Петербурга
Санкт-Петербургский государственный университет
Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна
Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена

Задания
89-ой Санкт-Петербургской олимпиады
школьников по химии



Санкт-Петербург
2023 г

Сборник задач отборочного (районного) и заключительного (городского) этапов Санкт-Петербургской олимпиады школьников по химии с решениями (для учителей, методистов, педагогов системы дополнительного образования школьников, учащихся 8 – 11 классов).

Составители:

Аверин Д.А., Булдаков А.В., Ванин А.А., Гусев И.М., Давыдов Н.А., Калинин А.В., Корнатов А.Н., Кутузов Я.А., Мерещенко А.С., Миссюль Б.В., Михайлов И.Е., Носов В.Г., Пошехонов И.С., Ростовский Н.В., Севастьянова Т.Н., Скрипкин М.Ю., Спасюк П.В., Филиппов И.П.

Ответственный за выпуск: Скрипкин М.Ю.

Ответственный редактор: Филиппов И.П.

Компьютерная верстка: Филиппов И.П.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие для участника олимпиады	4
1. Задания олимпиады	5
1.1. Отборочный (районный) этап. Теоретический тур	5
1.2. Отборочный (районный) этап. Практический тур	11
1.3. Заключительный (городской) этап. Теоретический тур	13
1.4. Заключительный (городской) этап. Практический тур	20
2. Решения задач	23
2.1. Отборочный (районный) этап. Теоретический тур	23
2.2. Отборочный (районный) этап. Практический тур	39
2.3. Заключительный (городской) этап. Теоретический тур	42
2.4. Заключительный (городской) этап. Практический тур	64
3. Сведения о составителях заданий	67

ПРЕДИСЛОВИЕ ДЛЯ УЧАСТНИКА ОЛИМПИАДЫ

Дорогой друг!

Мы, организаторы Санкт-Петербургской олимпиады школьников по химии, очень рады, что тебя интересует наша общая любимая наука – химия! Надеемся, что данный сборник будет небесполезен для тебя в период подготовки к олимпиаде. В нем приведены задания Санкт-Петербургской олимпиады школьников по химии 2022/2023 года и развернутые решения задач. Попробуй свои силы в работе с ними!

Помни, что задания отборочного (районного) этапа составлены большей частью в рамках школьной программы. Да, они могут несколько выходить за ее пределы, но если тебе не только известны частные, конкретные факты, а ты понимаешь общие закономерности, выработал логику химического мышления – никаких проблем задания создавать не должны. Конечно, в настоящее время существует достаточно много программ, различающихся, в частности, порядком изложения тех или иных тем. Однако мы всегда стараемся учесть этот момент и дать задания, не требующие сильного опережения какой-либо программы. Некоторое исключение составляет, вероятно, 8 класс – здесь объем пройденного к концу ноября – началу декабря материала настолько незначителен, что мы вынуждены немного забежать вперед, а участникам можно пожелать почитать учебник – ведь разбираться самому всегда так интересно... Да и полезно – приучает к самостоятельной работе.

В 9 классе, а тем более в 10 – 11 классах задания отборочного тура олимпиады, конечно же, становятся существенно сложнее. Кроме того, во всех трех параллелях, учащиеся могут завоевать право выступать в региональном этапе Всероссийской олимпиады школьников по химии, в комплект заданий входит и экспериментальная задача – пусть в виде слайд-шоу, но все-таки проверяется наличие практических навыков. При этом, как и на региональном этапе, ее выполнение является обязательным, и полученный балл учитывается при подведении итогов на равных с баллами за теоретические задания.

Участники, получившие не менее 50% баллов на отборочном этапе, приглашаются на заключительный этап олимпиады. Как ты понимаешь, эта планка не столь уж и высока. Отношение к участникам, прошедшим на заключительный этап, меняется. Ведь пройдя столь далеко, ты уже доказал, что являешься в известной степени профессионалом в выбранной области. Поэтому задания заключительного этапа могут довольно существенно выходить за рамки стандартной школьной программы. Как на региональном и заключительном этапах Всероссийской олимпиады школьников, так и на заключительном этапе Санкт-Петербургской олимпиады постоянно затрагиваются такие темы, как «Координационная химия», «Физико-химические методы анализа» и другие. Таким образом, для успешного выступления необходима не только *химическая логика*, но и *химическая эрудиция*, а желательно, и *химическая интуиция*.

Не забывай изучать литературу по химии, а также заглядывать за новой информацией на сайт олимпиады <http://chemspb.3dn.ru>. Из книг мы можем посоветовать такие издания, как «Общая химия» Н.Л. Глинки; «Общая и неорганическая химия» А.В. Суворова и А.Б. Никольского; «Основы общей химии» Б.В. Некрасова (в 2-х или 3-х томах); «Химия элементов» Н. Гринвуда и А. Эрншо (в 2-х томах); «Неорганическая химия» под ред. Ю.Д. Третьякова; «Органическая химия» О.А. Реутова, А.Л. Курца, К.П. Бутина (в 4-х томах), «Органическая химия» Р. Моррисона и Р. Бойда; «Начала органической химии» А.Н. и Н.А. Несмеяновых (в 2-х томах), есть и много других книг. Первые две книги пригодятся, в основном, учащимся 8 и 9 классов, остальные – старшеклассникам. Немало полезной информации можно почерпнуть из Интернет-ресурсов, таких как <http://www.chemnet.ru>; <http://experiment.edu.ru>; <http://www.chem.msu.su/rus>; <http://www.alhimik.ru>; <http://www.xumuk.ru>. Небесполезны могут быть и видеокурсы, размещенные на платформе «Открытое образование», например, курс «Введение в химию элементов», подготовленный преподавателями СПбГУ.

Несколько слов о структуре настоящего сборника. В первой части его приведены задания олимпиады 2022/2023 г. Попробуй справиться с ними самостоятельно. Для проверки в помощь будет вторая часть сборника, где представлены авторские решения задач

1. Задания олимпиады

1.1. Отборочный (районный) этап. Теоретический тур

8 класс

Авторы задач – Ванин А.А. (№ 1), Севастьянова Т.Н. (№ 2), Калинин А.В. (№ 3), Скрипкин М.Ю. (№ 4), Давыдов Н.А. (№ 5)

I вариант

1. Некоторый минерал содержит атомы только двух элементов, а его количественный состав может быть выражен соотношением: на 7 г железа приходится 8 г серы. При прокаливании на воздухе порошка минерала образуются только два продукта – сернистый газ и твердый огарок оксида железа. Определите, какая масса кислорода приходится на 14 г железа в огарке, если из 300 г минерала при прокаливании на воздухе образуется 200 г твердого остатка.
2. Вычислите массовую долю ортофосфата калия в водном растворе, если известно, что в 18.00 г такого раствора содержится $5.8 \cdot 10^{23}$ атомов кислорода. Ответ приведите с точностью до сотых.
3. Соленость воды в промилле (‰) – это масса (г) растворенных веществ в 1 кг морской воды. Солёность является одним из факторов, влияющих на биоразнообразие флоры и фауны морей. Средняя соленость Черного, Белого и Красного морей составляет 18, 28, 41 ‰ соответственно.
 - 1) Сколько нужно взять сухого хлорида натрия и воды, чтобы приготовить 208 мл раствора с соленостью 19 ‰ и плотностью 1.012 г/мл?
 - 2) Рассчитайте, в каком массовом соотношении нужно смешать воду Черного и Красного морей, чтобы получить воду с соленостью, близкой к солёности воды Белого моря.*Примечание: считайте, что единственным растворённым компонентом морской воды является NaCl.*
4. В образце грунта некоторой планеты массовые доли кислорода и кремния равны 0.550 и 0.320 соответственно. Во сколько раз атомов кислорода больше, чем атомов кремния? Ответ приведите с точностью до целых.
5. Укажите, сколько электронов содержит каждая из следующих частиц:
 $H, H^+, H^-, O_2, CO_2, VO_2^+, Eu^{2+}, C_{60}, C_5H_5^-, OsO_4$

II вариант

1. Некоторый минерал содержит атомы только двух элементов, а его количественный состав может быть выражен соотношением: на 86 г марганца приходится 100 г серы. При прокаливании на воздухе порошка минерала образуются только два продукта – сернистый газ и твердый огарок оксида марганца. Определите, какая масса кислорода приходится на 100 г марганца в огарке, если из 160 г минерала при прокаливании на воздухе образуется 117 г твердого остатка.
2. Вычислите массовую долю нитрата натрия в водном растворе, если известно, что в 20.00 г такого раствора содержится $5.54 \cdot 10^{23}$ атомов кислорода. Ответ приведите с точностью до сотых.
3. Соленость воды в промилле (‰) – это масса (г) растворенных веществ в 1 кг морской воды. Солёность является одним из факторов, влияющих на биоразнообразие флоры и фауны морей. Средняя соленость Черного, Белого и Желтого морей составляет 18, 28, 33 ‰ соответственно.
 - 1) Сколько нужно взять сухого хлорида натрия и воды, чтобы приготовить 41.6 мл раствора с соленостью 19 ‰ и плотностью 1.012 г/мл?
 - 2) Рассчитайте, в каком массовом соотношении нужно смешать воду Черного и Красного морей, чтобы получить воду с соленостью, близкой к солёности воды Белого моря.*Примечание: считайте, что единственным растворённым компонентом морской воды является NaCl.*
4. В образце грунта некоторой планеты массовые доли кислорода и железа равны 0.550 и 0.180 соответственно. Во сколько раз атомов кислорода больше, чем атомов железа? Ответ приведите с точностью до целых.
5. Укажите, сколько электронов содержит каждая из следующих частиц:
 $He, He^+, He^{2+}, N_2, NO_2, WO_2^{2+}, Ce^{4+}, S_8, SiH_4, TeO_2$

9 класс

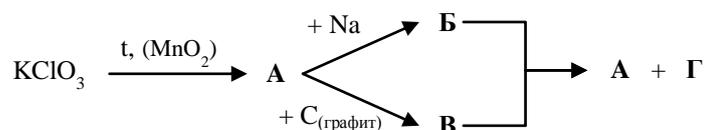
Авторы задач – Севастьянова (№ 1), Булдаков А.В. (№ 2), Пошехонов И.С. (№ 3),
Калиничев А.В. (№ 4)

I вариант

1. Для анализа сплава бария с магнием навеску этого сплава растворили в соляной кислоте. К полученному раствору добавили избыток раствора сульфата натрия. Масса выпавшего осадка оказалась в полтора раза больше массы исходного сплава. Определите массовую долю магния в сплаве.

2. Компоненты смеси двух простых веществ реагируют друг с другом при нагревании; при растворении продукта реакции в разбавленной H_2SO_4 выделяется смесь газов объемом 7.84 л (н.у.) с запахом тухлых яиц. При добавлении избытка щелочи к полученному раствору выпадает зеленоватый осадок, который со временем становится коричневым. При сжигании смеси газов и пропускании продуктов горения через известковое молоко выпадает 15.00 г белого осадка. Напишите уравнения упомянутых реакций. Установите массовое содержание веществ в исходной смеси.

3. На приведенной ниже схеме отражены превращения веществ, которые содержат один и тот же элемент, образующий простое вещество А:



1) Определите вещества А–Г, если известно, что массовая доля элемента, из которого образовано А, в соединении Б составляет 41%.

2) Напишите уравнения четырех реакций, отраженных на схеме.

3) Напишите уравнение реакции разложения $KClO_3$ в отсутствие катализатора.

4. Соленость воды в промилле (‰) – это масса (г) растворенных веществ в 1 кг морской воды. Средняя соленость Черного, Белого и Красного морей составляет 18, 28, 41 ‰ соответственно. Соленость может быть определена с помощью измерения электропроводности воды, а взаимосвязь электропроводности (S , $(\text{МОм}\cdot\text{см})^{-1}$) с содержанием NaCl (C , 10^{-4} %) может быть выражена следующим образом:

$$S = 1.75C + 140.$$

1) Определите, из какого моря, вероятнее всего, был взят образец морской воды с электропроводностью $49.2 (\text{кОм}\cdot\text{см})^{-1}$. Ответ подтвердите расчетами.

2) Объясните, почему при добавлении воды, взятой из Черного моря, к образцу из Красного моря, электропроводность будет уменьшаться.

3) Какие еще методы Вы можете предложить для определения солености?

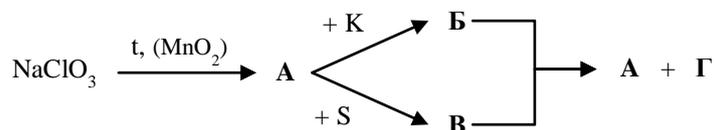
Примечание: считайте, что единственным растворённым компонентом морской воды является NaCl .

II вариант

1. Для анализа сплава бария с магнием навеску этого сплава растворили в соляной кислоте. К полученному раствору добавили избыток раствора сульфата калия. Масса выпавшего осадка оказалась в полтора раза меньше массы исходного сплава. Определите массовую долю бария в сплаве.

2. Компоненты смеси двух простых веществ реагируют друг с другом при нагревании; при растворении продукта реакции в разбавленной H_2SO_4 выделяется смесь газов объемом 7.84 л (н.у.) с запахом тухлых яиц. При добавлении избытка щелочи к полученному раствору выпадает зеленоватый осадок, который со временем становится коричневым. При сжигании смеси газов и пропускании продуктов горения через известковое молоко выпадает 24.00 г белого осадка. Напишите уравнения упомянутых реакций. Установите массовое содержание веществ в исходной смеси.

3. На приведенной ниже схеме отражены превращения веществ, которые содержат один и тот же элемент, образующий простое вещество А:



- 1) Определите вещества А–Г, если известно, что массовая доля элемента, из которого образовано А, в соединении Б составляет 45%.
- 2) Напишите уравнения четырех реакций, отраженных на схеме.
- 3) Напишите уравнение реакции разложения NaClO₃ в отсутствие катализатора.

4. Соленость воды в промилле (‰) – это масса (г) растворенных веществ в 1 кг морской воды. Средняя соленость Черного, Белого и Красного морей составляет 18, 28, 41 ‰ соответственно. Соленость может быть определена с помощью измерения электропроводности воды, а взаимосвязь электропроводности (S, (МОм·см)⁻¹) с содержанием NaCl (C, 10⁻⁴ %) может быть выражена следующим образом:

$$S = 1.75C + 140.$$

- 1) Определите, из какого моря, вероятнее всего, был взят образец морской воды с электропроводностью 31.6 (кОм·см)⁻¹. Ответ подтвердите расчетами.
- 2) Объясните, почему при добавлении воды, взятой из Белого моря, к образцу из Красного моря, электропроводность будет уменьшаться.
- 3) Какие еще методы Вы можете предложить для определения солености?

Примечание: считайте, что единственным растворённым компонентом морской воды является NaCl.

10 класс

*Авторы задач – Булдаков А.В. (№ 1), Михайлов И.Е. (№2), Пошехонов И.С. (№ 3),
Спасюк П.В. (№ 4), Калинин А.В. (№ 5).*

I вариант

1. Газообразные при обычных условиях вещества А и В способны при нагревании реагировать с черным порошком С. В первом случае получается простое вещество D розового цвета, а во втором – белое вещество Е и фиолетовые пары вещества F. Если вещества А и В смешать при обычных условиях, то образуется твердое вещество. При нагревании D и F также образуется вещество Е, в котором массовая доля одного из элементов равна 33.33%. Расшифруйте вещества А–F, напишите уравнения описанных реакций.

2. Минерал А, нередко используемый в украшениях, относится к классу основных солей. Массовые доли элементов, входящих в его состав, распределены следующим образом:

$$\omega(\text{X}) = 55.49\%, \omega(\text{O}) = 36.99\%, \omega(\text{C}) = 6.94\%, \omega(\text{H}) = 0.58\%$$

В ходе реакции А с аммиаком при высокой температуре образуются три газа, входящие в состав атмосферы. При растворении А в азотной кислоте образуется синий раствор и наблюдается выделение газа.

- 1) Установите молекулярную формулу А, ответ подтвердите расчётами.
- 2) Приведите уравнения химических реакций, упомянутых в условии.

3. В таблице приведены значения энергии некоторых химических связей:

Связь	Cl-Cl	C-Cl	H-Cl
E _{связи} , кДж/моль	243	322	430

- 1) Определите значение энергии связи C-H, если тепловой эффект реакции полного хлорирования метана составляет 397 кДж/моль. Ответ подтвердите расчетом.
 - 2) Охарактеризуйте молекулу получившегося хлорорганического соединения по следующим критериям: значение валентного угла, тип гибридизации центрального атома, полярность.
4. Образец нелинейного ациклического углеводорода X разделили на 2 части. Одну сожгли в кислороде, при этом образовалось 22.88 г CO₂ и 9.36 мл воды. Вторая прореагировала с 1 моль жёлто-зелёного газа с резким запахом при температуре 300 °С, при этом образовалось соединение Y.
- 1) Установите молекулярную и структурную формулу углеводорода X, если известно, что он не содержит третичных атомов углерода, а плотность его паров по неону равна 3.5.
 - 2) Приведите структурную формулу вещества Y.

3) Укажите название радикала, образующегося в ходе реакции получения вещества **Y** из **X**, и обоснуйте его устойчивость.

5. Соленость воды в промилле (‰) – это масса (г) растворенных веществ в 1 кг морской воды. Средняя соленость Черного, Белого и Красного морей составляет 18, 28, 41 ‰ соответственно. Для количественного определения галогенидов используется аргентометрия – титрование, основанное на реакции галогенидов с нитратом серебра.

1) Рассчитайте в каком массовом соотношении нужно смешать воду Черного и Красного морей, чтобы получить воду с соленостью близкой к воде Белого моря.

2) Какой объем раствора нитрата серебра с концентрацией 0.37 моль/л пойдет на титрование (на полное взаимодействие) 25.0 мл образца воды Черного моря ($\rho = 1.016$ г/мл)?

Примечание: считайте, что единственным растворённым компонентом морской воды является NaCl.

II вариант

1. Газообразные при обычных условиях вещества **A** и **B** способны при нагревании реагировать с красно-коричневым порошком **C**. В первом случае получается простое вещество **D** темно-серого цвета, а во втором – красно-коричневое вещество **E** и фиолетовые пары вещества **F**. Если вещества **A** и **B** смешать при обычных условиях, то образуется твердое вещество. При нагревании **D** и **F** также образуется вещество **E**, в котором массовая доля одного из элементов равна 18.06%. Расшифруйте вещества **A–F**, напишите уравнения описанных реакций.

2. Основная соль **A** входит в состав природного минерала, который применяется для приготовления восстанавливающего кожу лосьона. Этот минерал является кристаллогидратом $A \cdot 2H_2O$. Массовые доли элементов, входящих в его состав (без учёта двух молекул воды):

$$\omega(X) = 60.37\%, \omega(O) = 34.67\%, \omega(C) = 3.72\%, \omega(H) = 1.24\%$$

В ходе реакции **A** с аммиаком при высокой температуре образуются три газа, входящие в состав атмосферы. При растворении **A** в соляной кислоте образуется бесцветный раствор и наблюдается выделение газа.

1) Напишите молекулярную формулу **A**, ответ подтвердите расчётами.

2) Приведите уравнения химических реакций, упомянутых в условии.

3. В таблице приведены значения энергии некоторых химических связей:

Связь	F-F	C-F	H-F
$E_{\text{связи}}$, кДж/моль	154	486	563

1) Определите значение энергии связи C-H, если тепловой эффект реакции полного фторирования метана составляет 1942 кДж/моль.

2) Охарактеризуйте молекулу получившегося фторорганического соединения по следующим критериям: значение валентного угла, тип гибридизации центрального атома, полярность.

4. Образец нелинейного ациклического углеводорода **X** разделили на 2 части. Одну сожгли в кислороде, при этом образовалось 27.28 г CO_2 и 11.16 мл воды. Вторая прореагировала с 1 моль жёлто-зелёного газа с резким запахом при температуре 300 °С, при этом образовалось производное **Y**.

1) Установите молекулярную и структурную формулу углеводорода **X**, если известно, что он не содержит третичных атомов углерода, а плотность его паров по аргону равна 1.75.

2) Приведите структурную формулу вещества **Y**.

3) Укажите название радикала, образующегося в ходе реакции получения вещества **Y** из **X**, и обоснуйте его устойчивость.

5. Соленость воды в промилле (‰) – это масса (г) растворенных веществ в 1 кг морской воды. Средняя соленость Черного, Белого и Желтого морей составляет 18, 28, 33 ‰ соответственно. Для количественного определения галогенидов используется аргентометрия – титрование, основанное на реакции галогенидов с нитратом серебра.

1) Рассчитайте в каком массовом соотношении нужно смешать воду Черного и Красного морей, чтобы получить воду с соленостью близкой к воде Белого моря.

2) Какой объем раствора нитрата серебра с концентрацией 0.41 моль/л пойдет на титрование (на полное взаимодействие) 22.0 мл образца воды Черного моря ($\rho = 1.018$ г/мл)?

Примечание: считайте, что единственным растворённым компонентом морской воды является NaCl.

11 класс

*Авторы задач – Пошехонов И.С. (№№ 1,4), Филиппов И.П. (№ 2), Спасюк П.В. (№ 3),
Калиничев А.В. (№ 4), Ростовский Н.В. (№ 5)*

I вариант

1. «Нитромуриевая кислота» (так называл А. Лавуазье эту смесь) – смесь концентрированных азотной и соляной кислот, взятых в соотношении 1 : 3 по объему. Особенностью этой смеси является то, что она способна растворять золото, а также другие инертные металлы.

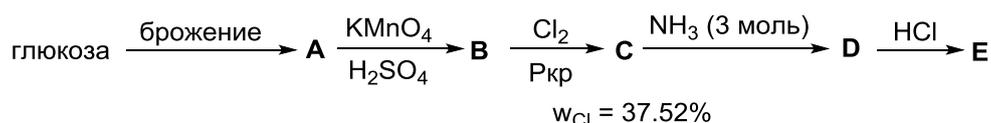
1) Рассмотрите взаимодействие следующих веществ: Zn, CrO, MnO₂, K₂[Pb(OH)₄] со взятыми **по отдельности** концентрированными растворами кислот (HNO₃ и HCl) при комнатной температуре. Напишите уравнения соответствующих реакций.

2) При растворении платины в вышеупомянутой кислоте образуется вещество X (ω_{Pt} = 46.88 %) и газ Y (D_{He} = 7.5). Напишите уравнение соответствующей реакции.

2. Соотнесите структурные формулы приведенных молекул и количество типов структурно неэквивалентных атомов водорода в них. Объясните ваш выбор. Некоторые из представленных соединений могут реагировать между собой. Проиллюстрируйте это двумя химическими реакциями, укажите условия их протекания.

	А	Б	В	Г	Д	Е
Структурная формула						
Количество типов структурно неэквивалентных атомов водорода	1	2	3	4	5	6

3. На следующей цепочке превращений представлен метод получения биологически активного вещества E из глюкозы:



1) Приведите структурные формулы веществ А – Е.

2) Напишите уравнения приведенных на схеме реакций с использованием структурных формул органических веществ.

4. Соленость воды в промилле (‰) – это масса (г) растворенных веществ в 1 кг морской воды. Средняя соленость Черного, Белого и Красного морей составляет 18, 28, 41 ‰ соответственно. Температура замерзания морской воды (T_з, °C) связана с соленостью (s, ‰) формулой Гелланд-Ганзена:

$$T_z = -0.003 - 0.0527s - 4 \cdot 10^{-5}s^2 - 4 \cdot 10^{-7}s^3$$

Зависимость солености Черного моря от глубины (h, м) до 300 м может быть выражена следующим образом:

$$s = 25.4 - 5.61 \cos(1.76 \cdot 10^{-2}h) + 9.78 \cdot 10^{-2}h$$

1) Определите, из какого моря, вероятнее всего, был взят образец морской воды, имеющий температуру замерзания –1.5 °C. Ответ подтвердите расчетами.

2) Рассчитайте, насколько изменится соленость воды Черного моря при погружении с 23 до 60 м. Объясните, почему наблюдается именно такая тенденция изменения солености с глубиной.

3) Что можно увидеть невооруженным глазом, если пресную воду медленно и аккуратно налить поверх соленой, предотвращая их смешивание? Объясните наблюдаемый эффект.

5. В герметично закрытый сосуд, содержащий углекислый газ, внесли навеску пероксида натрия массой 1.2 г. При этом давление в сосуде изменилось с 780 до 650 мм рт. ст. Температуру после проведения опыта привели к первоначальной – 0 °C.

1) Чему равен объем сосуда? Ответ подтвердите расчетом.

2) Напишите уравнение реакции, протекающей в ходе эксперимента.

3) Во сколько раз уменьшится давление в сосуде по отношению к изначальному, если вместо углекислого газа был бы использован угарный? Ответ подтвердите расчетом.

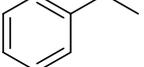
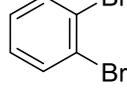
II вариант

1. «Нитромуриевая кислота» (так называл А. Лавуазье эту смесь) – смесь концентрированных азотной и соляной кислот, взятых в соотношении 1 : 3 по объему. Особенностью этой смеси является то, что она способна растворять золото, а также другие инертные металлы.

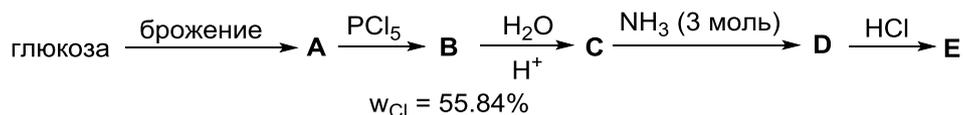
1) Рассмотрите взаимодействие следующих веществ: Mn, FeO, PbO₂, Na₂[Sn(OH)₄] со взятыми **по отдельности** концентрированными растворами кислот (HNO₃ и HCl) при комнатной температуре. Напишите уравнения соответствующих реакций.

2) При растворении палладия в вышеупомянутой кислоте образуется вещество X (ω_{Pd} = 36.62 %) и газ Y (ρ = 1.34 г/л при н.у.). Напишите уравнение соответствующей реакции.

2. Соотнесите структурные формулы приведенных молекул и количество типов структурно неэквивалентных атомов водорода в них. Объясните ваш выбор. Некоторые из представленных соединений могут реагировать между собой. Проиллюстрируйте это двумя химическими реакциями, укажите условия их протекания.

	А	Б	В	Г	Д	Е
Структурная формула						
Количество типов структурно неэквивалентных атомов водорода	1	2	3	4	5	6

3. На следующей цепочке превращений представлен метод получения биологически активного вещества Е из глюкозы:



1) Приведите структурные формулы веществ А – Е.

2) Напишите уравнения приведенных на схеме реакций с использованием структурных формул органических веществ.

4. Соленость воды в промилле (‰) – это масса (г) растворенных веществ в 1 кг морской воды. Средняя соленость Черного, Белого и Красного морей составляет 18, 28, 41 ‰ соответственно. Температура замерзания морской воды (T_з, °C) связана с соленостью (s, ‰) формулой Гелланд-Ганзена:

$$T_z = -0.003 - 0.0527s - 4 \cdot 10^{-5}s^2 - 4 \cdot 10^{-7}s^3$$

Зависимость солености Черного моря от глубины (h, м) до 300 м может быть выражена следующим образом:

$$s = 25.4 - 5.61 \cos(1.76 \cdot 10^{-2}h) + 9.78 \cdot 10^{-2}h$$

1) Определите, из какого моря, вероятнее всего, был взят образец морской воды, имеющий температуру замерзания –2.3 °C. Ответ подтвердите расчетами.

2) Рассчитайте, насколько изменится соленость воды Черного моря при погружении с 36 до 70 м. Объясните, почему наблюдается именно такая тенденция изменения солености с глубиной.

3) Что можно увидеть невооруженным глазом, если пресную воду медленно и аккуратно налить поверх соленой, предотвращая их смешивание? Объясните наблюдаемый эффект.

5. В герметично закрытый сосуд, содержащий углекислый газ, внесли навеску пероксида калия массой 5.43 г. При этом давление в сосуде изменилось с 720 до 510 мм рт. ст. Температуру после проведения опыта привели к первоначальной – 0 °C.

1) Чему равен объем сосуда? Ответ подтвердите расчетом.

2) Напишите уравнение реакции, протекающей в ходе эксперимента.

3) Во сколько раз уменьшится давление в сосуде по отношению к изначальному, если вместо углекислого газа был бы использован сернистый? Ответ подтвердите расчетом.

1.2 Отборочный (районный) этап. Практический тур

9 класс

Автор задачи – Пошехонов И.С.

I вариант

Описание эксперимента:

В лабораторию поступил образец бинарного сплава, для изучения состава которого был проделан ряд экспериментов.

1. Часть образца поместили в раствор гидроксида калия. Он частично растворился (полученный раствор – бесцветный) с выделением пузырьков газа. Твердый остаток отделили. Однако в растворе соляной кислоты его растворить не удалось.

2. Другую часть образца поместили в раствор концентрированной серной кислоты. Сплав полностью растворился, при этом образовался синий раствор.

Задание:

- 1) Установите состав сплава.
- 2) Напишите уравнения всех реакций, протекавших в ходе качественного анализа.

II вариант

Описание эксперимента:

В лабораторию поступил образец бинарного сплава, для изучения состава которого был проделан ряд экспериментов.

1. Часть образца поместили в раствор гидроксида натрия. Он частично растворился (полученный раствор – бесцветный) с выделением пузырьков газа. Твердый остаток отделили. Он полностью растворился в разбавленной азотной кислоте, при этом образовался синий раствор.

2. Другую часть образца поместили в раствор концентрированной серной кислоты. Сплав частично растворился, при этом образовался синий раствор.

Задание:

- 1) Установите состав сплава.
- 2) Напишите уравнения всех реакций, протекавших в ходе качественного анализа.

10 класс

Автор задачи – Скрипкин М.Ю.

I вариант

В стаканчике находится белый порошок X, являющийся индивидуальным веществом. Порошок разделили на 4 части и проделали с ними следующие опыты:

Пробирка 1: порошок обработали концентрированным раствором гидроксида натрия. Поднесенная к отверстию пробирки красная лакмусовая бумажка посинела.

Пробирка 2: порошок обработали концентрированной серной кислотой. Поднесенная к отверстию пробирки синяя лакмусовая бумажка покраснела.

Пробирка 3: порошок растворили в небольшом количестве воды, добавили концентрированную серную кислоту, медную проволоку и подогрели. Выделились бурые пары.

Пробирка 4: порошок нагрели в пламени газовой горелки и внесли в пробирку раскаленный уголек. Уголек вспыхнул.

Определите вещество X. Напишите уравнения реакций.

II вариант

В стаканчике находится белый порошок X, являющийся индивидуальным веществом. Порошок разделили на 4 части и проделали с ними следующие опыты:

Пробирка 1: порошок обработали концентрированным раствором фосфорной кислоты. Поднесенная к отверстию пробирки красная лакмусовая бумажка посинела.

Пробирка 2: порошок обработали концентрированным раствором гидроксида натрия. Поднесенная к отверстию пробирки красная лакмусовая бумажка посинела.

Пробирка 3: порошок растворили в воде и обработали раствором нитрата свинца. Выпал белый осадок, растворившийся при нагревании.

Пробирка 4: порошок обработали концентрированной азотной кислотой. Получился бурый раствор, обесцветившийся при добавлении щелочи

Определите вещество X. Напишите уравнения реакций.

11 класс

Автор задачи – Филиппов И.П.

I вариант

Описание эксперимента:

В четырех пробирках без этикеток находятся 4 бесцветных спиртовых раствора, содержащих бутаналь, стирол, фенилацетилен, глюкозу.

Для проведения качественного анализа использовали реактив Толленса и свежеприготовленный $\text{Cu}(\text{OH})_2$. Ниже приведен ход качественного анализа.

1) В четыре чистые пробирки отобрали пробы определяемых растворов; после чего добавили реактив Толленса. В пробирках № 1 и 4 наблюдали образование серебряного налёта на стенках пробирок, а в пробирке № 3 – выпадение белого осадка.

2) Заново отобрали пробы определяемых растворов № 1 и 4; после чего добавили к ним свежеприготовленный $\text{Cu}(\text{OH})_2$. В пробирке № 4 наблюдали растворение гидроксида меди (II) и образование тёмно-синего раствора, а в пробирке № 1 не произошло изменений.

Задание:

- 1) Сопоставьте содержимое растворов с номерами пробирок.
- 2) Напишите уравнения всех реакций, протекавших в ходе качественного анализа.

II вариант

Описание эксперимента:

В четырех пробирках без этикеток находятся 4 бесцветных спиртовых раствора, содержащих фенол, этиленгликоль, стирол, глюкозу.

Для проведения качественного анализа использовали реактив Толленса и бромную воду. Ниже приведен ход качественного анализа.

1. В четыре чистые пробирки отобрали пробы определяемых растворов; после чего добавили бромную воду. В пробирках № 3 и 4 наблюдали обесцвечивание бромной воды, а в пробирке № 1 – выпадение белого осадка.

2. Заново отобрали пробы определяемых растворов № 3 и 4; после чего добавили к ним реактив Толленса. В пробирке № 4 наблюдали образование серебряного налёта на стенке пробирки, а в пробирке № 3 не произошло изменений.

Задание:

- 1) Сопоставьте содержимое растворов с номерами пробирок.
- 2) Напишите уравнения всех реакций, протекавших в ходе качественного анализа.

1.3 Заключительный (городской) этап. Теоретический тур

8 класс

Авторы задач – Ростовский Н.В. (№№ 1, 7), Скрипкин М.Ю. (№№ 2, 4), Носов В.Г. (№ 3), Давыдов Н.А. (№ 6), Севастьянова Т.Н. (№ 5)

1. Справа изображён кроссворд-чайнворд с зашифрованными словами.

1) Найдите в сетке названия химических элементов, происходящие от названий стран и частей света. Слова могут читаться вертикально или горизонтально в любых направлениях и менять свой маршрут любое количество раз, но только под прямым углом. В ответе запишите названия и символы этих химических элементов.

2) В атоме какого из найденных Вами элементов содержится меньше 30 протонов? Напишите уравнение реакции кислорода с простым веществом, образуемым этим элементом.

А	Г	Т	Е	Р	Ф	Е	В
Л	Р	У	Н	А	Н	О	Р
Л	И	С	И	Й	Ц	П	И
Й	Й	К	Й	И	И	Й	Й
И	Н	А	Н	Д	И	Ц	И
П	А	М	Р	Н	Й	Й	Р
О	Й	И	Е	И	Н	И	Е
Л	О	Н	Г	Х	О	А	М

2. Приведите уравнения реакций, в ходе которых наблюдаются следующие изменения окраски.

А) оранжевое + бесцветное → желтое

Б) бесцветное + бесцветное → желтое

В) голубое + бесцветное → синее

Г) синее + бесцветное → черное

Д) красно-бурое + бесцветное → бесцветное

Примечание: цвет в правой части реакций может относиться как к раствору, так и к осадку.

3. Массовые доли хлора в хлоридах XCl_n и YCl_n относятся как 10 : 17 соответственно.

1) Определите элементы **X** и **Y** (при расчётах атомные массы элементов округлите до целых, массу хлора примите за 35.5).

2) Напишите уравнения реакций (рассмотрите все варианты): а) раствора хлорида XCl_n с раствором аммиака; б) раствора хлорида YCl_n с раствором фторида натрия. Все реакции запишите в сокращённо-ионном виде.

Примечание: рассматриваемые в задаче хлориды – единственные известные хлориды этих элементов.

4. Вашему вниманию предлагаются следующие средства и предметы: жидкость (электролит) для заправки свинцовых аккумуляторов, стальные гвозди, медная проволока, азотные удобрения для комнатных растений, рассол для огурцов, карандашный грифель, столовый уксус и жидкость для очистки труб.

1) Приведите химические формулы веществ, являющихся основными компонентами перечисленных объектов

2) Предложите метод синтеза оксида железа Fe_3O_4 , используя минимальное количество перечисленных объектов. Напишите уравнения соответствующих реакций.

5. Двенадцативодный сульфат аммония-хрома растворили в воде, и массовая доля водорода в полученном растворе составила 10.5%.

1) Приведите формулу двенадцативодного сульфата аммония-хрома. Каково тривиальное название солей этого класса?

2) Рассчитайте массовую долю хрома в этом растворе.

3) Укажите две сферы применения рассматриваемого соединения

6. В волшебном химическом лесу живёт Белоснежка с семью гномами-элементами. Каждый гном является представителем одного из периодов в периодической системе химических элементов. Первого гнома зовут Светлячок за его способность излучать свет. Второго гнома зовут Непоколебимый за его способность переносить жару – во всем лесу лишь в его доме есть лампы.

Третьего гнома зовут Гормон, и у него проблемы с щитовидной железой. Четвертый гном Умник – великий ученый, который разработал теорию относительности. Пятого гнома зовут Простачок, он самый младший из всех. Шестой гном Крушитель, он очень вспыльчивый, обладает огромной силой и при первой же возможности отбирает у своих товарищей электрон, после чего становится счастливым. Последнего гнома зовут Токсик. В его присутствии все начинают чувствовать себя плохо, как будто их отравили одним из древнейших ядов.

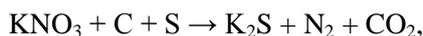
1) Установите соответствие между гномами и описанными химическими элементами. К каким периодам относятся эти гномы-элементы?

2) Каковы агрегатные состояния простых веществ, соответствующих загаданным химическим элементам (при н.у.)?

3) Известно, что некоторые гномы могут объединяться и образовывать продукты таких объединений, например, Светлячок и Крушитель, Простачок и Гормон. Напишите формулы этих продуктов.

Примечание: все упомянутые элементы относятся к разным периодам.

7. Сгорание черного пороха, представляющего собой смесь нитрата калия, угля и серы, можно описать следующей схемой:



1) Рассчитайте, какими должны быть массовые доли исходных компонентов, чтобы при сгорании они реагировали без остатка.

2) Какой объем газов (н.у.) выделится при сгорании 1.0 г такой смеси?

3) Какое давление (Па) могут создать эти газы в стволе ружья в замкнутом объеме 1 мл, если их температура составляет 3000 °С?

Примечание: для описания газовых смесей используется уравнение Менделеева-Клапейрона

$pV = nRT$, где p – давление газа, V – объем, n – количество вещества, универсальная газовая постоянная $R = 8.31$ (Дж/моль·К) и T – температура (К).

9 класс

Авторы задач – Севастьянова Т.Н. (№№ 1, 2, 4), Миссюль Б.В. (№ 3), Скрипкин М.Ю. (№ 5), Спасюк П.В. (№ 6), Аверин Д. А. (№ 7)

1. При взаимодействии оксида углерода (II) с водяным паром в присутствии катализатора при высокой температуре по достижении равновесия образовалась смесь, содержащая 35% водорода по объему. Первоначальный объем паров воды в 1.2 раза превосходил объем оксида углерода. Рассчитайте состав исходной и конечной смеси в объемных и массовых процентах.

2. Реакция меди с концентрированной серной кислотой протекает при нагревании. При умеренном нагревании, помимо основного процесса, протекает реакция, в результате которой образуется черный осадок. При обжиге на воздухе он превращается в два новых продукта: твердый и газообразный – с соотношением масс 2.5 : 1.

1) Какие соединения меди черной окраски Вам известны? Приведите формулы трёх соединений.

2) Укажите, что представляет собой образующийся черный осадок? Ответ подтвердите расчётом.

3) Приведите уравнения соответствующих реакций.

3. Разложение образца оксида металла (I) массой 1000 мг, содержащего 13.38% кислорода по массе, изучали термогравиметрическим методом. Изменение массы образца можно описать следующей схемой:



Массы веществ (мг): 1000.0 972.1 961.0 955.4 933.1

При дальнейшем нагревании изменения массы не происходит, но при 886 °С вещество V плавится без разложения.

1) Определите, какой металл входит в состав соединений I – V.

2) Установите состав соединений I – V.

3) Какой цвет имеет вещество IV? Где применяется это вещество?

4. Лаборанту необходимо проанализировать смесь металла А, оксида В и соли С щелочного металла. Он растворил небольшую пробу смеси в воде и проделал качественные реакции с этим раствором.

При добавлении нитрата серебра выпал белый творожистый осадок. Далее лаборант взял навеску исходной смеси 19.04 г и подействовал на неё концентрированной серной кислотой – растворилась только часть навески (*реакция 1*). Твердый остаток был отфильтрован и высушен. Газ **D**, выделившийся в результате обработки концентрированной серной кислотой, тяжелее воздуха, его объем при 20 °С и 755 мм рт ст составил 6.0 л. Газ был полностью поглощен минимальным количеством воды, и этим раствором при небольшом нагревании лаборант подействовал на отфильтрованный высушенный остаток. В результате полностью растворился ещё один компонент смеси, а часть осталась не растворившейся. Выделился практически нерастворимый в воде газ **E** легче воздуха (*реакция 2*). Его объем при 20 °С и 755 мм рт ст составил 2.4 л. Образовавшийся раствор был обработан гидроксидом калия, при этом выпал зеленоватый осадок **F** (*реакция 3*), который при стоянии на воздухе становится бурый (вещество **G**) (*реакция 4*). Нерастворившийся остаток из исходной смеси при обычных условиях растворим лишь в плавиковой кислоте.

1) Идентифицируйте вещества **A–G**.

2) Определите количественный состав исходной смеси в весовых и мольных % (с точностью до десятых).

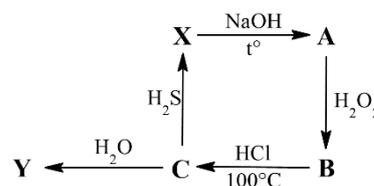
3) Напишите уравнения протекающих реакций.

5. Приведите уравнения реакций в сокращённо-ионном виде, в ходе которых наблюдаются следующие изменения окраски.

- А) оранжевое + бесцветное → желтое
- Б) бесцветное + бесцветное → желтое
- В) зеленое + бесцветное → синее
- Г) розовое + бесцветное → бесцветное
- Д) зеленое + бесцветное → желтое
- Е) синее + бесцветное → черное
- Ж) бесцветное + бесцветное → бурое
- З) красно-бурое + бесцветное → бесцветное
- И) оранжевое + бесцветное → зеленое
- К) синее + бесцветное → зеленое

Примечание: цвет в правой части реакций может относиться как к раствору, так и к осадку.

6. Химический элемент **X** является необходимым для человека микроэлементом, но в то же время некоторые его соединения весьма токсичны. Соединения элемента **X** часто применяются и в разных отраслях промышленности. Например, кислота **Y**, содержащая по массе 37.21% кислорода и 61.24% элемента **X**, активно применяется в металлургии при травлении металлов. Схема превращения веществ, содержащих элемент **X**, представлена справа:



1) Определите вещества **X** и **Y**, если известно, что **X** по своим химическим свойствам аналогичен неметаллу, входящему в состав *олеума*.

2) Определите вещества, указанные на схеме, и напишите уравнения всех реакций.

7. Широко известное вещество **A**, раствор которого имеет щелочную реакцию среды и резкий запах, взаимодействует с *разрушающим элементом* в присутствии меди с образованием соединения **B** (*реакция 1*). Последнее – бесцветный ядовитый газ с затхлым запахом плесени, вызывающий коррозию металлов. Если ввести соединение **B** в реакцию с медью при 670 К, то получится соединение **C** (*реакция 2*), являющееся структурным аналогом соединения **D**, которое в свою очередь образуется при взаимодействии гипохлорита натрия с соединением **A** (*реакция 3*). При взаимодействии соединения **C** и хлорида алюминия при 203 К (*реакция 4*) образуется соединение **E** и два простых вещества, одно из которых было получено Шееле. При нагревании до 373 К соединение **E** превращается в соединение **F**. В таблице ниже приведены массовые доли элемента, являющегося общим для соединений **A–F**:

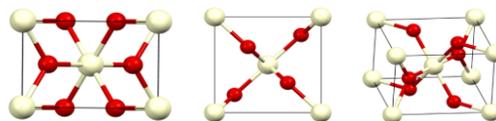
Соединение	A	B	C	D	E	F
$\omega_{\text{эл-та}}, \%$	82.24	19.73	26.93	87.42	42.44	42.44

- 1) Приведите формулы соединения А–F. Чем являются соединения Е и F по отношению к друг другу? Приведите их структурные формулы.
- 2) Напишите уравнения реакций 1 – 4.
- 3) Где применяется соединение D? Приведите его тривиальное название.

10 класс

Авторы задач – Носов В.Г. (№ 1), Гусев И.М. (№ 2), Михайлов И.Е. (№ 3), Филиппов И.П. (№ 4), Миссюль Б.В. (№№ 5, 6), Калинин А.В. (№ 7)

1. Оксид А, элементарная ячейка которого в трёх проекциях показана на рисунке, может быть получен при реакции оксида В с избытком кислорода. Известно, что степень окисления металла X в оксидах А и В различается на единицу, а оксид А является сильным окислителем. Так, при растворении 1 грамма А в 50 мл подкисленного серной кислотой раствора KI (взят в избытке), раствор окрашивается в красно-бурый цвет. На титрование аликвоты 10 мл этого раствора расходуется 23.2 мл 0.05 М раствора тиосульфата натрия.



1) Определите стехиометрию оксида А, состав оксидов А, В и металл X. Учтите, что в обоих оксидах атомная доля кислорода выше атомной доли металла, а оксид В содержит элемент X в той же степени окисления, что и продукт реакции с подкисленным раствором иодида калия. Напишите уравнение реакции превращения оксида В в оксид А.

2) Напишите уравнение реакции оксида А с подкисленным раствором иодида калия.

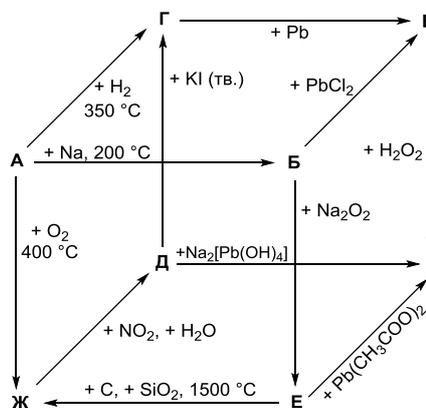
3) Напишите уравнение реакции, происходящей с участием тиосульфата натрия.

4) Проиллюстрируйте кислотно-основные свойства оксидов А и В.

2. На приведённой справа схеме представлены химические реакции веществ, содержащих элемент А, входящего в дюжину важнейших макроэлементов живых организмов. Известно, что массовая доля элемента А в веществе Ж составляет 50 %.

1) Определите формулы веществ А – Ж.

2) Напишите все уравнения химических реакций, укажите признаки их протекания.



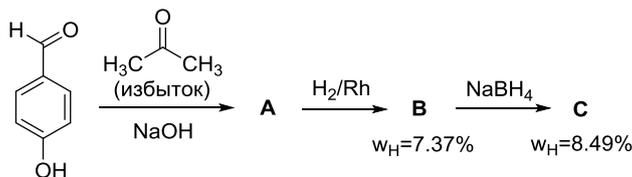
3. Элемент X образует ряд водородных соединений с общими формулам X_nH_{2n+2} и X_nH_{2n} . Они намного более реакционноспособны и термически менее стабильны, чем водородные соединения его соседа по группе в Периодической системе химических элементов Д.И. Менделеева. При сгорании в кислороде смеси двух жидкостей А и В, соседей в гомологическом ряду X_nH_{2n} , взятых в молярном соотношении 3:1, образовался твёрдый оксид XO_2 и 18.9 г воды. Если сжечь вещества А и В в тех же количествах по отдельности, то в случае А образуется на 27.0 г больше оксида XO_2 , чем в случае В.

1) Определите элемент X, вещества А и В, изобразите их структурные формулы, если известно, что в данных соединениях нет кратных связей, третичных и четвертичных атомов X. Назовите А и В.

2) Рассчитайте массовые доли А и В в использованной смеси.

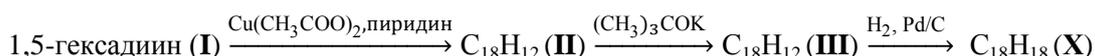
3) Вещества А и В подвержены гидролизу в присутствии следов щёлочи в качестве катализатора. Приведите уравнения этих реакций.

4. Ниже представлен путь синтеза природных соединений, содержащихся в малине (**B**) и рододендроне (**C**).



- 1) Приведите структурные формулы соединений **A–C**.
- 2) Изобразите механизм образования соединения **A**.
- 3) Какой продукт образуется, если на первой стадии использовать недостаток ацетона?
- 4) Сколько типов структурно неэквивалентных атомов водорода имеется в молекуле **C**? Учтите наличие в этой молекуле асимметрического атома углерода.

5. В 1962 году был синтезирован углеводород **X** красно-коричневого цвета, который стал первым представителем нового класса углеводородов. Синтез был проведен по схеме:



Известно, что: а) все атомы водорода в соединении **II** эквивалентны;
 б) количество тройных связей в **III** в 2 раза меньше, чем в **II**;
 в) молекула вещества **X** является высокосимметричной.

- 1) Каков тип гибридизации атомов углерода, связанных с атомами водорода, в соединении **II**?
- 2) Сколько двойных связей содержит соединение **III**?
- 3) Установите строение соединений **I – III** и конечного продукта **X**.
- 4) Объясните низкий выход соединения **II** (6% от теоретического) на первой стадии синтеза.

6. В 1966 году в Боливии был обнаружен минерал **X**, имеющий весьма необычное строение. Он состоит всего из двух элементов и может быть получен в лаборатории нагреванием стехиометрической смеси соответствующих простых веществ до 720 °С в запаянной кварцевой трубке. Для определения состава минерала его образец массой 1.668 г нагрели с концентрированной азотной кислотой (*реакция 1*), при этом выпал белый осадок **A** и образовался бесцветный раствор. К этому раствору добавили избыток раствора нитрата бария. При этом выпал белый осадок **B** (*реакция 2*) массой 3.501 г. Осадок **A** прокалили с углем (*реакция 3*), а остаток **C** обработали хлором (*реакция 4*). При этом образовалась бесцветная дымящая на воздухе жидкость **D**, содержащая 54.43% хлора по массе.

- 1) Определите состав минерала **X**. Каковы степени окисления элементов в его составе?
- 2) Определите состав соединений **A–D**.
- 3) Напишите уравнения *реакций 1–4*.

7. В ходе каталитической газофазной изомеризации *n*-пентан **A** превращается в изопентан **B** и неопентан **C** при давлении 1 бар. Стандартные изменения энергий Гиббса образования этих веществ приведены в таблице:

Вещество	A	B	C
$\Delta_f G_{323.15}^0$, кДж/моль	-8.4	-14.8	-1.5

- 1) Рассчитайте константы равновесия при 50 °С двух реакций изомеризации *n*-пентана, выраженные через мольные доли веществ **A–C**.
- 2) Определите состав (в мольных долях, %) равновесной газовой смеси.
- 3) Укажите, как изменятся константы равновесия двух реакций изомеризации, а также состав равновесной газовой смеси при увеличении общего давления в 2.5 раза. Ответ обоснуйте.
- 4) Какой катализатор может использоваться для описанной реакции изомеризации *n*-пентана?

Примечание: константа равновесия (K) связана с изменением стандартной энергии Гиббса реакции ($\Delta_r G^0$) следующим выражением: $\Delta_r G^0 = -RT \ln K_p$.

11 класс

Авторы задач – Филиппов И.П. (№ 1), Мерещенко А.С. (№ 2), Калинин А.В. (№ 3), Севастьянова Т.Н. (№ 4), Ростовский Н.В. (№№ 5, 6), Коронатов А.Н. (№ 7)

1. В 1898 году низкотемпературной перегонкой жидкого воздуха был получен газ **X** без цвета и запаха (н.у.). Он содержал в своём составе некий «странный» элемент, обнаруженный спектральными методами. Лишь спустя полвека были получены первые соединения этого элемента. Известно, что **X** реагирует с фтором и в зависимости от условий может образовывать три фторида: **A**, **B** и **C**, массовые доли фтора в которых относятся как 1 : 1.634 : 2.071. Белое кристаллическое вещество **A** хорошо растворяется в воде, со временем реагируя с ней (*реакция 1*) с образованием **X**, фтороводорода и газа **D**, который не реагирует с **X**. Эти же продукты получаются и в реакции **B** с водой (*реакция 2*), но наряду с ними получается и крайне взрывоопасное вещество **E** – один из трёх известных оксидов элемента **X** ($\omega_X = 73.23\%$). Оксид **E** образуется и при хранении фторида **C** в стеклянной посуде (*реакция 3*). В отличие от фторидов **A** и **B**, вещество **C** способно к комплексообразованию. Так, оно реагирует с избытком нитрозилфторида (*реакция 4*), образуя продукт **F** ($\omega_F = 44.27\%$).

- 1) Приведите формулы веществ **A–F**, **X**. Ответы подтвердите расчётами.
- 2) Напишите уравнения *реакций 1–4*.
- 3) Чем можно объяснить причину низкой реакционной способности газа **X**?
- 4) Почему физические свойства газа **X** близки к свойствам, предсказанным с помощью модели идеального газа?

2. Благородный металл **M** растворили в *царской водке* (*реакция 1*), а образовавшийся жёлтый раствор вещества **A** аккуратно выпарили. Полученные жёлтые кристаллы растворили в небольшом количестве воды и добавили концентрированный раствор хлорида калия (*реакция 2*). Выпал жёлтый осадок вещества **B**, содержащий кристаллизационную воду. Осадок отфильтровали и растворили в этаноле. Далее провели два эксперимента. При добавлении к одной части раствора нескольких капель раствора 1,4-диаминобутана в этаноле выпал жёлтый осадок **B** (*реакция 3*). К другой части раствора быстро добавили избыток раствора 1,4-диаминобутана, при этом осадок не образовался (*реакция 4*). Только после упаривания части этанола наблюдали образование жёлтого осадка **G**. Массовые доли элементов в полученных соединениях представлены в таблице справа. Учтите, что отношение числа атомов металла и хлора в соединении **A** составляет 1:4.

	Вещество		
	B	B	G
$\omega_C, \%$		6.91	8.85
$\omega_H, \%$		1.74	2.23
$\omega_N, \%$		4.03	5.16
$\omega_M, \%$	47.59	56.70	54.40

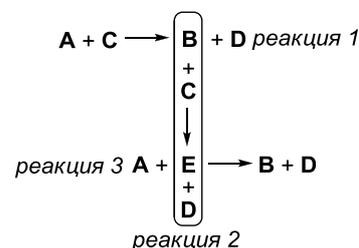
Осадок отфильтровали и растворили в этаноле. Далее провели два эксперимента. При добавлении к одной части раствора нескольких капель раствора 1,4-диаминобутана в этаноле выпал жёлтый осадок **B** (*реакция 3*). К другой части раствора быстро добавили избыток раствора 1,4-диаминобутана, при этом осадок не образовался (*реакция 4*). Только после упаривания части этанола наблюдали образование жёлтого осадка **G**. Массовые доли элементов в полученных соединениях представлены в таблице справа. Учтите, что отношение числа атомов металла и хлора в соединении **A** составляет 1:4.

- 1) Определите металл **M** и приведите формулы соединений **A** и **B**. Приведите структурные формулы соединений **B** и **G**. Напишите уравнения *реакций 1–4*.
- 2) Предложите механизм образования соединения **G**. Почему растворимость вещества **B** в этаноле существенно ниже растворимости вещества **G**?
- 3) Предложите способ получения металла **M** из раствора соединения **A**. Приведите уравнение реакции.

3. Химические элементы **X** и **Y** играют важную роль в производстве стали, чугуна и керамики. При высоких температурах в этих процессах могут образовываться различные вещества, содержащие один из этих элементов (вещества **A–D**) или оба (вещество **E**). Возможные превращения веществ **A–E** и их характеристики приведены справа.

	A	B	C	D	E
содержит X	+	+	–	–	+
содержит Y	–	–	+	+	+
тип решётки	атом.		атом.	?	?
агр. сост. (1500 °С)	тв.	г.	тв.	г.	тв.

- 1) Определите элементы **X** и **Y**, а также вещества **A–E**, если **C** является простым веществом, а все остальные – бинарными.
- 2) Определите тип кристаллической решётки веществ **D** и **E**.
- 3) Напишите уравнения *реакций 1–3*.



4) Рассчитайте константу равновесия реакции (3): $A + E = B + D$, если изменение стандартной энергии Гиббса реакций (1) и (2) на 1 моль **D** при 1500 °С равно 80.00 и -73.09 кДж соответственно, а общее давление равно 1 бар.

5) Рассчитайте парциальное давление вещества **D** при установлении термодинамического равновесия в исследуемой системе при 1500 °С.

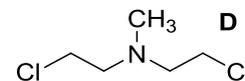
Примечание: константа равновесия (K) связана с изменением стандартной энергии Гиббса реакции ($\Delta_r G^\circ$) следующим выражением: $\Delta_r G^\circ = -RT \ln K$.

4. Пробу смеси, содержащей безводные нитраты бария, свинца и кальция, массой 1.204 г растворили в воде, и полученный раствор обработали избытком раствора хромата калия в присутствии уксусной кислоты. Выпал осадок, который после промывания и высушивания имел массу 0.688 г. Другую пробу исходной смеси массой 0.737 г также растворили в воде и добавили соляную кислоту до прекращения образования осадка. Осадок отцентрифугировали при низкой температуре, растворили в теплой воде и подвергли электролизу. Масса металла, выделившегося на катоде, оказалась равной 0.133 г.

1) Приведите уравнения описанных реакций и объясните целесообразность выбранного хода анализа.

2) Определите массовые доли металлов (в пересчете на чистый металл), а также процентное содержание солей во взятых образцах.

5. Токсичное соединение **A**, способное воспламеняться на воздухе, является газообразным при температуре выше 11 °С и имеет плотность 1.8 г/л (25 °С, 1 атм). Впервые **A** было получено в середине XIX века в результате действия щелочи на соединение **B**. В свою очередь соединение **B** может быть получено при действии соляной кислоты на **A**. При высокой температуре **A** изомеризуется в соединение **C**. Соединение **A** активно реагирует со многими веществами: водой, спиртами, аминами и пр. Оно было использовано в синтезе первого противоопухолевого препарата **D**, структура которого представлена справа:



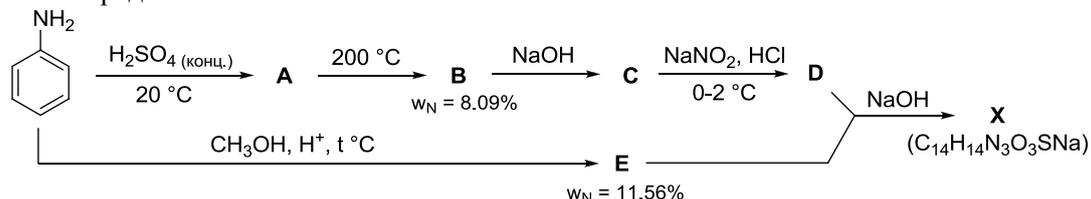
1) Определите структуры соединений **A** – **C**, ответ подтвердите расчётами.

2) Предложите трехстадийный метод синтеза соединения **D** из **A**.

3) Приведите современный промышленный способ получения соединения **A**.

4) Предположите, чем объясняется токсическое действие соединений **A** и **D**.

6. Вещество **X** представляет собой оранжевые кристаллы, незначительно растворимые в воде (0.2 г на 100 г воды). Впервые оно было получено в 1877 году и было названо *Helianthus*. Известно, что 0.1 М водный раствор вещества **X** активно применяется в аналитической химии. Схема получения соединения **X** представлена ниже:



1) Приведите структурные формулы соединений **A**–**E**, **X**, если известно, что в **X** имеется 5 типов структурно неэквивалентных атомов водорода.

2) Приведите современное название вещества **X**. Для чего оно применяется в аналитической химии? Приведите два примера названий веществ с аналогичным назначением.

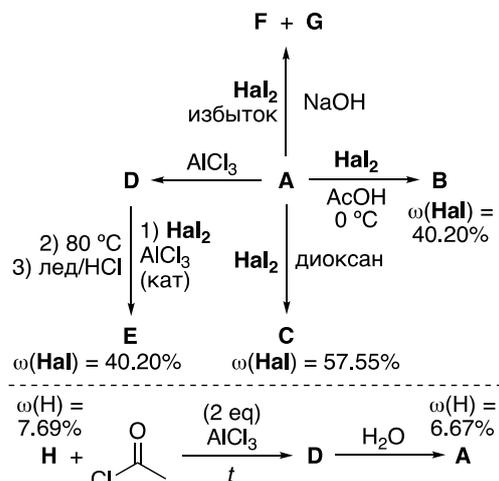
3) Изобразите структуру, в которую переходит **X** в сильноокислой среде.

7. Вещество **A** часто применяется в качестве исходного соединения в органическом синтезе. На схеме представлен метод синтеза **A** и примеры его реакций с галогеном **Hal₂**: в зависимости от условий реакции могут быть получены продукты **B**, **C**, **E** или смесь **F** и **G**.

1) Определите зашифрованные органические соединения **A – H**, если известно, что **F** не имеет галогенов в составе.

2) Предложите два альтернативных метода синтеза соединения **A** из доступных веществ.

3) Почему реакцию получения **E** из **D** ведут без растворителя? Объясните селективность галогенирования вещества **D**.



1.4 Заключительный (городской) этап. Практический тур

8 класс

Автор задачи – Скрипкин М.Ю.

Практическое задание: Вам выдано 6 пронумерованных пробирок №№ 1–6 с водными растворами BaCl_2 , $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$, MgCl_2 , NH_4Cl , $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, NaCl . Для определения этих солей Вам также выданы 3 склянки **A–B** с растворами серной кислоты, гидроксида натрия и аммиака, а также фенолфталеиновая индикаторная бумага. Определите содержимое трех колб и 6 пробирок

Теоретические вопросы: Вам выдано 6 пронумерованных пробирок №№ 1–6 с водными растворами BaCl_2 , $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$, MgCl_2 , NH_4Cl , $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, NaCl . Для определения этих солей Вам также выданы 3 склянки **A–B** с растворами серной кислоты, гидроксида натрия и аммиака, а также фенолфталеиновая индикаторная бумага.

1) Заполните таблицу, отметив в соответствующих клетках аналитические признаки реакций

	BaCl_2	$\text{Al}(\text{NO}_3)_3$	MgCl_2	NH_4Cl	$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$	NaCl
H_2SO_4						
NaOH						
NH_4OH						

2) Напишите уравнения химических реакций.

9 класс

Автор задачи – Гусев И.М.

Практическое задание: Вам выданы 3 пронумерованные пробирки №№ 1–3 с водными растворами смесей двух попарно солей из списка (пары могут быть выбраны в произвольном порядке): $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$, ZnCl_2 , NH_4NO_3 , $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, NaNO_3 , при этом каждая соль встречается лишь 1 раз. Для определения этих солей Вам выданы пробирки **A–B** с растворами серной кислоты, гидроксида натрия, аммиака и фенолфталеиновая бумага. Определите смеси солей и содержимое пробирок **A–B**.

Теоретические вопросы: Вам выданы 3 пронумерованные пробирки №№ 1–3 с водными растворами смесей двух попарно солей из списка (пары могут быть выбраны в произвольном порядке): BaCl_2 , $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$, ZnCl_2 , NH_4Cl , $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, NaCl , при этом каждая соль встречается лишь 1 раз. Для определения этих солей Вам выданы пробирки **A–B** с растворами серной кислоты, гидроксида натрия и аммиака и фенолфталеиновая бумага. Определите смеси солей и содержимое пробирок **A–B**.

1) Заполните таблицу отметив в соответствующих клетках аналитические признаки реакций

	Ba(NO ₃) ₂	Al(NO ₃) ₃	ZnCl ₂	NH ₄ NO ₃	Pb(NO ₃) ₂	NaNO ₃
H ₂ SO ₄						
NaOH						
NH ₄ OH						

2) Напишите уравнения химических реакций.

10 класс

Автор задачи – Кутузов Я.А.

Практическое задание: В работе Вам предстоит определить иодное число выданного Вам масла и на основании этого определить его тип. Для проведения эксперимента воспользуйтесь следующей методикой.

Колбу вместимостью 100 мл с шлифованной пробкой, содержащую смесь навески растительного масла и 96 % этилового спирта нагреть на водяной бане с температурой 50-60 °С в течение 20 минут (можно нагреть под струей теплой воды, если в колбе находится гомогенный раствор – нагревать не нужно). По истечении указанного срока колбу охладить до комнатной температуры и добавить пипеткой к анализируемой пробе 25 мл 0,05 М спиртового раствора иода. Обернуть колбу черной бумагой или поставить в темное место и оставить на 5 минут. Спустя **ровно** 5 минут перенести смесь в колбу вместимостью 500 мл с шлифованной пробкой, добавить 200 мл дистиллированной воды, закрыть колбу пробкой и хорошо перемешать. Через 5 минут полученную смесь оттитровать 0,1 М раствором тиосульфата натрия до перехода коричневой окраски в желтую. Затем добавить индикатор – 1%-ный раствор крахмала и продолжить титрование до исчезновения фиолетовой окраски.

Контрольный опыт проделать с теми же реактивами. К 10 мл этилового спирта добавить 25 мл 0,05М спиртового раствора иода и оставить полученный раствор в темном месте. Спустя ровно 5 минут влить 200 мл дистиллированной воды и *тщательно* перемешать. Полученную эмульсию оттитровать 0,1М раствором тиосульфата натрия в присутствии крахмала.

На основании полученных данных рассчитайте иодное число масла (т.е., массу иода – в граммах – взаимодействующую со 100 г масла) и определите, какому маслу оно соответствует. Таблица значений иодных чисел приведена ниже:

Масло	Подсолнечное	Льняное	Оливковое
Иодное число	120 - 140	170 -200	75 - 90

Теоретические вопросы: В выданных Вам колбах находятся пробы растительного масла. Одним из главных достоинств растительного масла является присутствие в его составе остатков ненасыщенных карбоновых кислот. Количественной характеристикой их содержания могут служить различные показатели, важнейшими из которых являются: иодное число, число омыления, кислотное число.

- 1) Приведите структурные формулы и названия 3 ненасыщенных карбоновых кислот, остатки которых входят в состав растительных масел, и 3 соответствующих жиров.
- 2) Какая из указанных характеристик, на Ваш взгляд, наиболее точно отражает степень ненасыщенности масла? Ответ обоснуйте. Приведите уравнения реакций, лежащих в основе определения данных характеристик.
- 3) Почему для определения иодного числа, числа омыления и кислотного числа используют не водные, а спиртовые растворы реагентов?
- 4) Какие реагенты помимо иода могут быть использованы для определения иодного числа? В чем их преимущества и недостатки?

11 класс

Автор задачи – Скрипкин М.Ю.

Практическое задание: в выданных Вам пронумерованных пробирках находятся растворы из следующего набора:

0.001 М HNO_3 , 0.001 М NaCl , 0.001 М NaOH , 0.1 М H_3PO_4 + 0.1 М NaH_2PO_4 , 0.1 М NaH_2PO_4 + 0.1 М Na_2HPO_4 , 0.1 М Na_2HPO_4 + 0.1 М Na_3PO_4 .

Каждый раствор может находиться либо один раз, либо повторяться. Определите содержимое пробирок.

Теоретические вопросы: в выданных Вам пронумерованных пробирках находятся растворы из следующего набора:

0.001 М HNO_3 , 0.001 М NaCl , 0.001 М NaOH , 0.1 М H_3PO_4 + 0.1 М NaH_2PO_4 , 0.1 М NaH_2PO_4 + 0.1 М Na_2HPO_4 , 0.1 М Na_2HPO_4 + 0.1 М Na_3PO_4 .

Каждый раствор может находиться либо один раз, либо повторяться.

1) Рассчитайте pH каждого из указанных растворов.

2) Предложите методику определения содержимого пробирок, используя дополнительный набор пробирок, универсальный индикатор (универсальную индикаторную бумагу), дистиллированную воду, химический стакан, стеклянные палочки). Методику аргументируйте соответствующими расчетами (ступенчатые константы диссоциации фосфорной кислоты составляют $K_1 = 7.52 \cdot 10^{-3}$, $K_2 = 6.31 \cdot 10^{-8}$, $K_3 = 1.26 \cdot 10^{-12}$).

2. Решения задач

2.1. Отборочный (районный) этап. Теоретический тур

8 класс

№ 1

I вариант

В 300 г минерала и в 200 г огарка содержится одна и та же масса атомов железа $m(\text{Fe})$. Найдем её, составив пропорцию:

*в минерале на (7+8) г минерала приходится 7 г железа
или на 300 г минерала приходится $m(\text{Fe})$ г железа;*

$$m(\text{Fe}) = \frac{300 \cdot 7}{7+8} = 140 \text{ г}$$

Оксид железа (окалина) состоит из атомов двух элементов – железа и кислорода. Найдем массу атомов кислорода, содержащуюся в 200 г огарка:

$$m(\text{O}) = m(\text{огарок}) - m(\text{Fe}) = 200 - 140 = 60 \text{ г}$$

*в оксиде железа на 140 г железа приходится 60 г кислорода
или на 14 г железа – x г кислорода;*

$$x = \frac{14 \cdot 60}{140} = 6 \text{ г}$$

II вариант

В 160 г минерала и в 117 г оксида содержится одна и та же масса атомов марганца $m(\text{Mn})$. Найдем её, составив пропорцию:

*в минерале на (86+100) г минерала приходится 86 г марганца
или на 160 г минерала приходится $m(\text{Mn})$ г марганца;*

$$m(\text{Mn}) = \frac{160 \cdot 86}{86+100} = 74 \text{ г}$$

Оксид марганца состоит из атомов двух элементов – марганца и кислорода. Найдем массу атомов кислорода, содержащуюся в 117 г твердого остатка:

$$m(\text{O}) = m(\text{тв. ост.}) - m(\text{Mn}) = 117 - 74 = 43 \text{ г}$$

*в оксиде марганца на 74 г марганца приходится 43 г кислорода
или на 100 г марганца – y г кислорода;*

$$y = \frac{100 \cdot 43}{74} = 58 \text{ г}$$

Рекомендации к оцениванию:

- | | |
|---|---------|
| 1. Приведен верный численный ответ | 1 балл |
| 2. Приведено полное решение и обоснование – 4 балла | 4 балла |
| Приведено частичное решение и обоснование – 2 балла | |

ИТОГО: 5 баллов

№ 2

I вариант

Ортофосфат калия – K_3PO_4 ;

$$M(\text{K}_3\text{PO}_4) = 39 \cdot 3 + 31 + 4 \cdot 16 = 212 \text{ г/моль};$$

Обозначим массу фосфата в растворе через m , массу воды $(18 - m)$

$$\text{Тогда: } \frac{m \cdot 4 \cdot 6.02 \cdot 10^{23}}{212} + \frac{(18-m) \cdot 6.02 \cdot 10^{23}}{18} = 5.8 \cdot 10^{23}$$

Решая данное уравнение, получим $m = 1.00 \text{ г}$

$$\omega(\text{K}_3\text{PO}_4) = \frac{1}{18} = 0.056 \text{ (6\%)}$$

II вариант

Ортофосфат калия – NaNO_3 ;

$M(\text{NaNO}_3) = 23 + 14 + 3 \cdot 16 = 85$ г/моль;

Обозначим массу нитрата в растворе через m , масса воды $(20 - m)$

Тогда: $\frac{m \cdot 3 \cdot 6.02 \cdot 10^{23}}{85} + \frac{(20 - m) \cdot 6.02 \cdot 10^{23}}{18} = 5.54 \cdot 10^{23}$

Решая данное уравнение, получим $m = 9.1$ г

$\omega(\text{NaNO}_3) = \frac{9.1}{20} = 0.455$ (46%)

Рекомендации к оцениванию:

- | | |
|---|---------|
| 1. Формула растворенного вещества | 1 балл |
| 2. Характеристика числа атомов кислорода в соли и в воде, их связь в виде уравнения или системы уравнений | 2 балла |
| 3. Расчет массы соли | 1 балл |
| 4. Расчет массовой доли | 1 балл |

ИТОГО: 5 баллов

№ 3

I вариант

1) По определению 19 % означает, что в 1 кг морской воды содержится 19 г NaCl . Рассчитаем массу 200 мл раствора с плотностью 1.012 г/мл: $m = V\rho = 208 \cdot 1.012 = 210.5$ г. По пропорции рассчитаем массу NaCl :

19 г NaCl – 1000 г раствора

x г NaCl – 210.5 г раствора

откуда $x = 4.0$ г NaCl . Тогда масса воды равняется $210.5 - 4.0 = 206.5$ г.

Таким образом, нужно смешать **4.0 г NaCl** и **206.5 г воды**.

2) Обозначим массу воды Черного моря за x , Красного — за y . Рассчитаем соотношение масс в расчете на 1 кг воды Белого моря: $18x + 41y = 28(x + y)$. Разделим на y : $18x/y + 41 = 28x/y + 28$, откуда найдем, что $x/y = 1.3$. Таким образом, необходимо смешать воду Черного и Красного морей в соотношении **1.3:1**.

II вариант

1) По определению 19 % означает, что в 1 кг морской воды содержится 19 г NaCl . Рассчитаем массу 41.6 мл раствора с плотностью 1.012 г/мл: $m = V\rho = 41.6 \cdot 1.012 = 42.1$ г. По пропорции рассчитаем массу NaCl :

19 г NaCl – 1000 г раствора

x г NaCl – 42.1 г раствора

откуда $x = 0.8$ г NaCl . Тогда масса воды равняется $42.1 - 0.8 = 41.3$ г.

Таким образом, нужно смешать **0.8 г NaCl** и **41.3 г воды**.

2) Обозначим массу воды Черного моря за x , Желтого — за y . Рассчитаем соотношение масс в расчете на 1 кг воды Белого моря: $18x + 33y = 28(x + y)$. Разделим на y : $18x/y + 33 = 28x/y + 28$, откуда найдем, что $x/y = 0.5$. Таким образом, необходимо смешать воду Черного и Желтого морей в соотношении **1:2**.

Рекомендации к оцениванию:

- | | |
|--|---------|
| 1. Расчет массы хлорида натрия и воды по 1 баллу | 2 балла |
| 2. Расчет массового соотношения | 3 балла |

ИТОГО: 5 баллов

№ 4

I вариант

Пусть масса образца грунта составляет 100 г. Тогда масса кислорода в нем составляет 55.0 г, а масса кремния – 32.0 г. Количество вещества атомов элементов составит:

Кислорода: $n_1 = 55/16 = 3.44$ моль

Кремния: $n_2 = 32/28 = 1.14$ моль

Отношение числа атомов равно отношению количества вещества атомов и составляет:

$$n_1/n_2 = 3.44/1.14 = 3$$

II вариант

Пусть масса образца грунта составляет 100 г. Тогда масса кислорода в нем составляет 55.0 г, а масса железа – 18.0 г. Количество вещества атомов элементов составит:

Кислорода: $n_1 = 55/16 = 3.44$ моль

Железа: $n_2 = 18/56 = 0.32$ моль

Отношение числа атомов равно отношению количества вещества атомов и составляет:

$$n_1/n_2 = 3.44/0.32 = 11$$

Рекомендации к оцениванию:

1. Количество вещества атомов элемента в некоторой массе грунта по 1 баллу 4 балла
2. Рассчитано соотношение числа атомов – 1 балл 1 балл
(без округления до целых – 0.5 балла)

ИТОГО: 5 баллов

№ 5

I вариант

Атом водорода имеет порядковый номер один, поэтому его ядро несёт на себе заряд +1, а вокруг ядра вращается один электрон. В катионе водорода электронов нет совсем, поэтому заряд такой частицы +1. В анионе водорода, напротив, один электрон лишний, поэтому ион имеет заряд -1. Кислород имеет порядковый номер 8, поэтому в молекуле O_2 16 электронов.

В молекуле CO_2 : $6 + 8 + 8 = 22$ электрона;

В ионе VO_2^+ : $23 - 1 + 8 \cdot 2 = 38$ электронов;

В ионе Eu^{2+} : $63 - 2 = 61$ электрон;

В молекуле фуллерена C_{60} : $60 \cdot 6 = 360$ электронов;

В анионе $C_5H_5^-$: $5 \cdot 6 + 5 \cdot 1 + 1 = 36$ электронов;

В молекуле OsO_4 : $76 + 4 \cdot 8 = 108$ электронов.

II вариант

Атом гелия имеет порядковый номер два, поэтому его ядро несёт на себе заряд +2, а вокруг ядра вращается два электрона. В однозарядном катионе гелия на один электрон меньше, поэтому заряд такой частицы +1. В двухзарядном катионе гелия оба электрона отсутствуют. Азот имеет порядковый номер 7, поэтому в молекуле N_2 14 электронов;

В молекуле NO_2 : $7 + 8 + 8 = 23$ электрона;

В ионе WO_2^{2+} : $74 + 8 \cdot 2 - 2 = 88$ электронов;

В ионе Se^{4+} : $58 - 4 = 54$ электрон;

В молекуле S_8 : $16 \cdot 8 = 128$ электронов;

В молекуле SiH_4 : $14 \cdot 1 + 4 \cdot 1 = 18$ электронов;

В молекуле TeO_2 : $52 + 2 \cdot 8 = 68$ электронов;

Рекомендации к оцениванию:

1. Верное количество электронов в частице по 0.5 балла 5 баллов

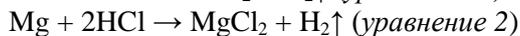
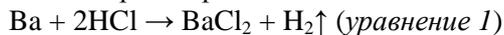
ИТОГО: 5 баллов

9 класс

№ 1

I вариант

Реакции растворения компонентов сплава в соляной кислоте:



Реакция с серной кислотой:



Обозначим массу магния в сплаве через «а», массу бария – через «b». Масса выпавшего сульфата бария может быть выражена как $233 \cdot b / 137$ и, тогда, по условию задачи:

$$\frac{233 \cdot b}{137} = \frac{1.5}{a + b}$$

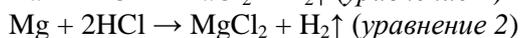
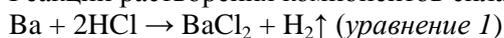
Решая это уравнение относительно а, получим $a = 0.1338b$

Тогда масса сплава $a + b = 0.1338b + b = 1.1338b$

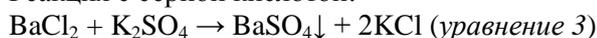
$\omega(\text{Mg}) = 0.1338b / 1.1338b = \mathbf{0.118 (12 \%)}$

II вариант

Реакции растворения компонентов сплава в соляной кислоте:



Реакция с серной кислотой:



Обозначим массу магния в сплаве через «а», массу бария – через «b». Масса выпавшего сульфата бария может быть выражена как $233 \cdot b / 137$ и, тогда, по условию задачи:

$$\frac{233 \cdot b}{137} = \frac{a + b}{1.5}$$

Решая это уравнение относительно b, получим $b = 0.645a$

Тогда масса сплава $a + b = a + 0.645a = 1.645a$

$\omega(\text{Mg}) = 0.645a / 1.645a = \mathbf{0.392 (39 \%)}$

Рекомендации к оцениванию:

- | | |
|--|-----------|
| 1. Запись уравнений химических реакций по 0.5 балла | 1.5 балла |
| 2. Составление уравнения (системы уравнений) для расчета | 2 балла |
| 3. Определение массовой доли | 1.5 балла |

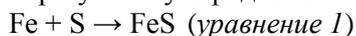
ИТОГО: 5 баллов

№ 2

I вариант

Запах тухлых яиц у смеси газов указывает на то, что один из ее компонентов – это сероводород H_2S . Зеленый осадок, выпадающий при добавлении щелочи, соответствует гидроксиду железа (II) $\text{Fe}(\text{OH})_2$. Это подтверждается и тем, что осадок со временем коричневеет – происходит его окисление до $\text{Fe}(\text{OH})_3$.

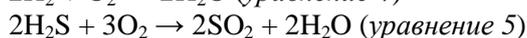
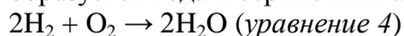
Таким образом, исходные простые вещества – это сера S и железо Fe. При нагревании смеси образуется сульфид железа (II):



Если по окончании реакции остается избыток серы, он не будет реагировать с разбавленной серной кислотой. Если же остается избыток железа, то при реакции с серной кислотой будет выделяться еще водород:



Значит, состав газовой смеси – это водород H_2 и сероводород H_2S . При сжигании этой газовой смеси образуется вода и сернистый газ:



При пропускании продуктов реакции через известковое молоко выпадает 15 г осадка сульфита кальция $CaSO_3$:



$$v(CaSO_3) = \frac{15}{120} = 0.125 \text{ моль} = v(SO_2) = v(H_2S) = v(FeS) = v(S); \mathbf{m(S) = 0.125 \cdot 32 = 4 \text{ г}}$$

$$V(H_2S) = 22.4 \cdot 0.125 = 2.8 \text{ л}$$

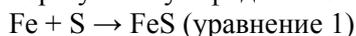
$$V(H_2) = 7.84 - 2.8 = 5.04 \text{ л}; v(H_2) = \frac{5.04}{22.4} = 0.225 \text{ моль} = v(Fe)_{\text{ост.}}; v(Fe)_{\text{общ.}} = 0.125 + 0.225 = 0.35 \text{ моль}$$

$$\mathbf{m(Fe) = 0.35 \cdot 56 = 19.6 \text{ г}}$$

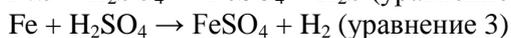
II вариант

Запах тухлых яиц у смеси газов указывает на то, что один из ее компонентов – это сероводород H_2S . Зеленый осадок, выпадающий при добавлении щелочи, соответствует гидроксиду железа (II) $Fe(OH)_2$. Это подтверждается и тем, что осадок со временем коричневеет – происходит его окисление до $Fe(OH)_3$.

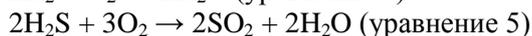
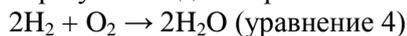
Таким образом, исходные простые вещества – это сера S и железо Fe . При нагревании смеси образуется сульфид железа (II):



Если по окончании реакции остается избыток серы, он не будет реагировать с разбавленной серной кислотой. Если же остается избыток железа, то при реакции с серной кислотой будет выделяться еще водород:



Значит, состав газовой смеси – это водород H_2 и сероводород H_2S . При сжигании этой газовой смеси образуется вода и сернистый газ:



При пропускании продуктов реакции через известковое молоко выпадает 15 г осадка сульфита кальция $CaSO_3$:



$$v(CaSO_3) = \frac{24}{120} = 0.2 \text{ моль} = v(SO_2) = v(H_2S) = v(FeS) = v(S); \mathbf{m(S) = 0.2 \cdot 32 = 6.4 \text{ г}}$$

$$V(H_2S) = 22.4 \cdot 0.2 = 4.48 \text{ л}$$

$$V(H_2) = 7.84 - 4.48 = 3.36 \text{ л}; v(H_2) = \frac{3.36}{22.4} = 0.15 \text{ моль} = v(Fe)_{\text{ост.}}; v(Fe)_{\text{общ.}} = 0.2 + 0.15 = 0.35 \text{ моль}$$

$$\mathbf{m(Fe) = 0.35 \cdot 56 = 19.6 \text{ г}}$$

Рекомендации к оцениванию:

1. Уравнения реакций по 0.5 балла 3 балла
2. Массы компонентов смеси по 1 баллу 2 балла

ИТОГО: 5 баллов

№ 3

I вариант

По условию вещество **A** – простое. Учитывая, что оно образуется при каталитическом разложении хлората калия, логично предположить, что это кислород O_2 . Вещество **B** – кислородное соединение натрия. Представим его формулу как Na_xO_y , тогда:

$$x : y = \frac{100-41}{23} : \frac{41}{16} = 2.565 : 2.563 = 1 : 1$$

Учитывая, что валентность кислорода **B**, **B** – пероксид натрия Na_2O_2 .

A	B	B	Г
O_2	Na_2O_2	CO_2	Na_2CO_3

Уравнения реакций:

- 1) $2\text{KClO}_3 \rightarrow 2\text{KCl} + 3\text{O}_2$
- 2) $2\text{Na} + \text{O}_2 \rightarrow \text{Na}_2\text{O}_2$
- 3) $\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$
- 4) $2\text{Na}_2\text{O}_2 + 2\text{CO}_2 \rightarrow 2\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{O}_2$

В отсутствие катализатора хлораты диспропорционируют:



II вариант

По условию вещество **A** – простое. Учитывая, что оно образуется при каталитическом разложении хлората натрия, логично предположить, что это кислород O_2 . Вещество **B** – кислородное соединение калия. Представим его формулу как K_xO_y , тогда:

$$x : y = \frac{100-45}{39} : \frac{45}{16} = 1.41 : 2.81 = 1 : 2$$

Учитывая, что валентность кислорода II, **B** – надпероксид калия KO_2 .

A	B	B	Г
O_2	KO_2	SO_2	Na_2SO_4

Уравнения реакций:

- 1) $2\text{NaClO}_3 \rightarrow 2\text{NaCl} + 3\text{O}_2$
- 2) $\text{K} + \text{O}_2 \rightarrow \text{KO}_2$
- 3) $\text{S} + \text{O}_2 \rightarrow \text{SO}_2$
- 4) $2\text{KO}_2 + \text{SO}_2 \rightarrow \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{O}_2$

В отсутствие катализатора хлораты диспропорционируют:



Рекомендации к оцениванию:

1. Вещества **A** – **Г** по 0.5 балла 2 балла
2. Уравнения реакций по схеме по 0.5 балла 3 балла
Уравнение реакции некаталитического разложения – 1 балл

ИТОГО: 5 баллов

№ 4

I вариант

1) Переведем данное значение электропроводности в $(\text{МОм}\cdot\text{см})^{-1}$: $S = 4.92 \cdot 10^4 (\text{МОм}\cdot\text{см})^{-1}$. Рассчитаем содержание NaCl по формуле: $C = (S - 140)/1.75 = 28034 \cdot 10^{-4} \% = 28 \%$. Из полученного значения можно сделать вывод, что образец морской воды, вероятнее всего, был взят из **Белого моря**.

2) Электропроводность воды напрямую зависит от концентрации электролитов в ней: чем их больше, тем электропроводность выше. Таким образом, при добавлении воды из Красного моря воды из Черного моря происходит разбавление первой, что приводит к **уменьшению содержания электролитов** и, как следствие, к понижению электропроводности.

3) Для определения солености можно использовать метод осадительного титрования (основан на реакции с AgNO_3), метод прямой потенциометрии с использованием галогенид-селективных электродов, ареометрирование (измерение плотности), рефрактометрия (измерение показателя преломления).

II вариант

1) Переведем данное значение электропроводности в $(\text{МОм}\cdot\text{см})^{-1}$: $S = 3.16 \cdot 10^4 (\text{МОм}\cdot\text{см})^{-1}$. Рассчитаем содержание NaCl по формуле: $C = (S - 140)/1.75 = 17977 \cdot 10^{-4} \% = 18 \%$. Из полученного значения можно сделать вывод, что образец морской воды, вероятнее всего, был взят из **Черного моря**.

2) Электропроводность воды напрямую зависит от концентрации электролитов в ней: чем их больше, тем электропроводность выше. Таким образом, при добавлении воды из Красного моря воды из Белого моря происходит разбавление первой, что приводит к **уменьшению содержания электролитов** и, как следствие, к понижению электропроводности.

3) Для определения солености можно использовать метод осадительного титрования (основан на реакции с AgNO_3), метод прямой потенциометрии с использованием галогенид-селективных электродов, ареометрирование (измерение плотности), рефрактометрия (измерение показателя преломления).

Рекомендации к оцениванию:

- | | |
|--|-----------------|
| 1. Определение моря (без расчетов – 0 баллов) | 2 балла |
| 2. Объяснение уменьшения электропроводности | 2 балла |
| 3. Указание альтернативного метода (засчитывается любой вариант) | 1 балл |
| ИТОГО: | 5 баллов |

10 класс

№ 1

I вариант

Предположим, что фиолетовый пар – это иод I_2 , а вещество **Е** – бинарное. Тогда массовая доля иода в нем будет, $100 - 33.33 = 66.67\%$ (в силу большой относительной атомной массы иода). Если в **Е** один атом иода, то:

$$M(\text{Е}) = 127/0.6667 = 190.5 \text{ г/моль}$$

В таком случае, относительная атомная масса второго элемента: $190.5 - 127 = 63.5$, что соответствует меди. Тогда черный порошок **С** – это оксид меди (II) CuO . Это вещество вступает в реакцию с аммиаком, образуя чистую медь – вещество **Д**. Также CuO реагирует с иодоводородом (тогда **В** – это HI) с образованием белого иодида меди (I) CuI (вещество **Е**) и паров иода (вещество **Ф**). Сама медь может реагировать с молекулярным иодом с образованием того же иодида меди (I).

A	B	C	D	E	F
NH_3	HI	CuO	Cu	CuI	I_2

Уравнения реакций:

- $\text{NH}_3 + \text{HI} \rightarrow \text{NH}_4\text{I}$
- $3\text{CuO} + 2\text{NH}_3 \rightarrow 3\text{Cu} + \text{N}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$
- $2\text{CuO} + 4\text{HI} \rightarrow 2\text{CuI} + 2\text{H}_2\text{O} + \text{I}_2$
- $2\text{Cu} + \text{I}_2 \rightarrow 2\text{CuI}$

II вариант

Предположим, что фиолетовый пар – это иод I_2 , а вещество **Е** – бинарное. Тогда массовая доля иода в нем будет, $100 - 18.06 = 81.94\%$ (в силу большой относительной атомной массы иода). Если в **Е** один атом иода, то:

$$M(\text{Е}) = 127/0.8194 = 155 \text{ г/моль}$$

В таком случае, относительная атомная масса второго элемента: $155 - 127 = 28$. Одновалентного элемента с такой атомной массой нет. Если в **Е** два атома иода, то:

$$M(\text{Е}) = 127 \cdot 2 / 0.8194 = 310 \text{ г/моль}$$

В таком случае, относительная атомная масса второго элемента: $310 - 2 \cdot 127 = 56$, что соответствует железу. Тогда черный порошок **С** – это оксид железа (III) Fe_2O_3 . Это вещество вступает в реакцию с аммиаком, образуя чистое железо – вещество **Д**. Также Fe_2O_3 реагирует с иодоводородом (тогда **В** – это HI) с образованием красно-коричневого иодида железа (II) FeI_2 (вещество **Е**) и паров иода (вещество **Ф**). Само железо может реагировать с молекулярным иодом с образованием того же иодида железа (II).

A	B	C	D	E	F
NH ₃	HI	Fe ₂ O ₃	Fe	FeI ₂	I ₂

Уравнения реакций:

- $\text{NH}_3 + \text{HI} \rightarrow \text{NH}_4\text{I}$
- $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 2\text{NH}_3 = 2\text{Fe} + \text{N}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$
- $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 6\text{HI} = 2\text{FeI}_2 + 3\text{H}_2\text{O} + \text{I}_2$
- $\text{Fe} + \text{I}_2 = \text{FeI}_2$

Рекомендации к оцениванию:

- Вещества А – F по 0.5 балла 3 балла
- Уравнения реакций по 0.5 балла 2 балла

ИТОГО: 5 баллов

№ 2

I вариант

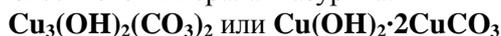
1. Пусть формула минерала А – $\text{X}_x\text{O}_y\text{C}_z\text{H}_k$, тогда соотношение элементов:

$$x : y : z : k = \frac{55.49}{A_r(\text{X})} : \frac{36.99}{16} : \frac{6.94}{12} : \frac{0.58}{1} = \frac{55.49}{A_r(\text{X})} : 2.312 : 0.578 : 0.58 = \frac{96}{A_r(\text{X})} : 4 : 1 : 1$$

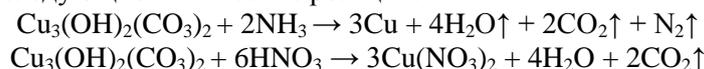
Целочисленные значения первой дроби получатся при X = Mo, Ti или Mg. Но ни в одном из этих случаев не удастся составить формулу основного карбоната, удовлетворяющего химическому смыслу. Рассмотрим другой вариант соотношения:

$$x : y : z : k = \frac{192}{A_r(\text{X})} : 8 : 2 : 2$$

Целочисленные значения первой дроби получатся при X = Ir, Mo или Cu. В случае меди получаем элементный состав $\text{Cu}_3\text{O}_8\text{C}_2\text{H}_2$ известного минерала – азурита:



2. В задаче упомянуты следующие химические реакции:

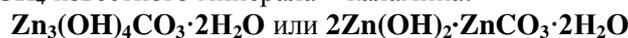


II вариант

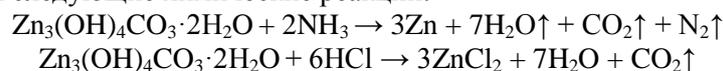
1. Пусть формула основной соли А – $\text{X}_x\text{O}_y\text{C}_z\text{H}_k$, тогда соотношение элементов:

$$x : y : z : k = \frac{60.37}{A_r(\text{X})} : \frac{34.67}{16} : \frac{3.72}{12} : \frac{1.24}{1} = \frac{60.37}{A_r(\text{X})} : 2.167 : 0.310 : 1.24 = \frac{194.7}{A_r(\text{X})} : 7 : 1 : 4$$

Целочисленные значения первой дроби получатся при X = Pt или Zn. В случае цинка получаем элементный состав $\text{Zn}_3\text{O}_7\text{CH}_4$ известного минерала – каламина:



2. В задаче упомянуты следующие химические реакции:



Допускается написание уравнений реакций как для кристаллогидрата, так и для безводной соли А.

Рекомендации к оцениванию:

- Установлена формула А (с подтверждением расчетом) – 2 балла 2 балла
- Уравнения реакций по 1.5 балла 3 балла

ИТОГО: 5 баллов

№ 3

I вариант

1. Уравнение реакции:



В ходе протекания реакций химические связи реагирующих веществ разрываются, энергия при этом затрачивается. В ходе образования новых веществ – продуктов реакции – образуются новые связи, энергия выделяется. Поэтому тепловой эффект химической реакции можно рассматривать как разницу между энергиями образующихся и разрывающихся связей:

$$\begin{aligned}\Delta Q_r &= 4 \cdot E_{\text{св.}}(\text{C-Cl}) + 4 \cdot E_{\text{св.}}(\text{H-Cl}) - 4 \cdot E_{\text{св.}}(\text{C-H}) - 4 \cdot E_{\text{св.}}(\text{Cl-Cl}) = 397 \\ &4 \cdot (322 + 430 - E_{\text{св.}}(\text{C-H}) - 243) = 397 \\ E_{\text{св.}}(\text{C-H}) &= \mathbf{410 \text{ кДж/моль}}\end{aligned}$$

2. $109^\circ 28'$; sp^3 -гибридизация; молекула неполярная.

II вариант

1. Уравнение реакции:



В ходе протекания реакций химические связи реагирующих веществ разрываются, энергия при этом затрачивается. В ходе образования новых веществ – продуктов реакции – образуются новые связи, энергия выделяется. Поэтому тепловой эффект химической реакции можно рассматривать как разницу между энергиями образующихся и разрывающихся связей:

$$\begin{aligned}\Delta Q_r &= 4 \cdot E_{\text{св.}}(\text{C-F}) + 4 \cdot E_{\text{св.}}(\text{H-F}) - 4 \cdot E_{\text{св.}}(\text{C-H}) - 4 \cdot E_{\text{св.}}(\text{F-F}) = 1942 \\ &4 \cdot (486 + 563 - E_{\text{св.}}(\text{C-H}) - 154) = 1942 \\ E_{\text{св.}}(\text{C-H}) &= \mathbf{410 \text{ кДж/моль}}\end{aligned}$$

2. $109^\circ 28'$; sp^3 -гибридизация; молекула неполярная.

Рекомендации к оцениванию:

- | | |
|---|-----------------|
| 1. Уравнение реакции – 1 балл | 3.5 балла |
| Расчет значения энергии С-Н связи – 2.5 балла | |
| 2. Критерии характеристики по 0.5 балла | 1.5 балла |
| ИТОГО: | 5 баллов |

№ 4

I вариант

Решение:

1) Определим количество веществ CO_2 и воды. Перед этим определим массу воды, умножив объем на плотность):

$$v(\text{CO}_2) = 22.88/44 = 0.52 \text{ моль}$$

$$v(\text{H}_2\text{O}) = (9.36 \cdot 1)/18 = 0.52 \text{ моль}$$

Определим количество углерода и водорода, оставшихся после сгорания:

$$v(\text{C}) = v(\text{CO}_2) = 0.52 \text{ моль}$$

$$v(\text{H}) = 2 \cdot v(\text{H}_2\text{O}) = 0.369 \cdot 2 = 1.04 \text{ моль}$$

Представим формулу углеводорода в виде C_xH_y , тогда:

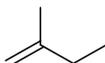
$$x : y = v(\text{CO}_2) : v(\text{H}_2\text{O}) = 0.52 : 1.04 = \mathbf{1 : 2}$$

Простейшая формула углеводорода – CH_2 ;

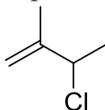
Найдём молярную массу **X** с помощью расчёта по плотности паров:

$$M(\mathbf{X}) = 3.5 \cdot 20 = 70 \text{ г/моль}$$

Исходя из молярной массы и простейшей формулы, получаем, что молекулярная формула углеводорода – C_5H_{10} . Структурная формула, соответствующая приведённым условиям, это **2-метилбутен-1**:



2) Жёлто-зелёный газ с резким запахом – это хлор. В указанных условиях происходит радикальное хлорирование в α -положение при вторичном углеродном атоме:



3) Образуется аллильный радикал, его стабильность обусловлена тем, что р-орбиталь неспаренного электрона находится в сопряжении с р-электронами двойной связи. Следовательно, происходит делокализация электронной плотности и стабилизация радикала.

II вариант

1) Определим количество веществ CO_2 и воды. Перед этим определим массу воды, умножим объем на плотность):

$$v(\text{CO}_2) = 27.28/44 = 0.62 \text{ моль}$$

$$v(\text{H}_2\text{O}) = (11.16 \cdot 1)/18 = 0.62 \text{ моль}$$

Определим количество углерода и водорода, оставшихся после сгорания:

$$v(\text{C}) = v(\text{CO}_2) = 0.62 \text{ моль}$$

$$v(\text{H}) = 2 \cdot v(\text{H}_2\text{O}) = 0.62 \cdot 2 = 1.24 \text{ моль}$$

Представим формулу углеводорода в виде C_xH_y , тогда:

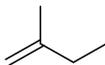
$$x : y = v(\text{CO}_2) : v(\text{H}_2\text{O}) = 0.62 : 1.24 = 1 : 2$$

Простейшая формула углеводорода – C_5H_{10} .

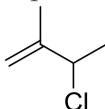
Найдём молярную массу **X** с помощью расчёта по плотности паров:

$$M(\text{X}) = 1.75 \cdot 40 = 70 \text{ г/моль}$$

Исходя из молярной массы и простейшей формулы получаем, что молекулярная формула углеводорода – **C_5H_{10}** . Структурная формула, соответствующая приведённым условиям, это **2-метилбутен-1**:



2) Жёлто-зелёный газ с резким запахом – это хлор. В указанных условиях происходит радикальное хлорирование в α -положение при вторичном углеродном атоме:



3) Образуется аллильный радикал, его стабильность обусловлена тем, что р-орбиталь неспаренного электрона находится в сопряжении с р-электронами двойной связи. Следовательно, происходит делокализация электронной плотности и стабилизация радикала.

Рекомендации к оцениванию:

- | | |
|---|---------|
| 1. Вывод молекулярной формулы | 2 балла |
| 2. Структурные формулы веществ X и Y по 1 баллу | 2 балла |
| 3. Название и обоснование устойчивости радикала по 0.5 балла | 1 балл |

ИТОГО: 5 баллов

№ 5

I вариант

1) Обозначим массу воды Черного моря за x , Красного – за y . Рассчитаем соотношение масс в расчете на 1 кг воды Белого моря:

$$18x + 41y = 28 \cdot (x + y)$$

Откуда $x/y = 1.3$

Таким образом, необходимо смешать воду Черного и Красного морей в соотношении **1.3:1**.

2) Рассчитаем массу образца: $m = V \cdot \rho = 25.0 \cdot 1.016 = 25.4 \text{ г}$. По пропорции рассчитаем массу NaCl :

18 г NaCl – 1000 г раствора

x г NaCl – 25.4 г раствора

откуда $x = 0.457 \text{ г}$ или 7.81 ммоль NaCl .

По уравнению реакции $\text{AgNO}_3 + \text{NaCl} \rightarrow \text{AgCl} + \text{NaNO}_3$ на 1 моль NaCl расходуется 1 моль AgNO_3 . Тогда на полное взаимодействие с NaCl пойдет 7.81 ммоль AgNO_3 .
Рассчитаем искомый объем по формуле: $V = n/C = 7.81 \cdot 10^{-3} / 0.37 = 2.11 \cdot 10^{-2} \text{ л} = \mathbf{21.1 \text{ мл}}$.

II вариант

1) Обозначим массу воды Черного моря за x , Желтого – за y . Рассчитаем соотношение масс в расчете на 1 кг воды Белого моря:

$$18x + 33y = 28 \cdot (x + y)$$

Откуда $x/y = 0.5$

Таким образом, необходимо смешать воду Черного и Желтого морей в соотношении **1:2**.

2) Рассчитаем массу образца: $m = V \cdot \rho = 22.0 \cdot 1.018 = 22.4 \text{ г}$. По пропорции рассчитаем массу NaCl :

18 г NaCl – 1000 г раствора

x г NaCl – 22.4 г раствора

откуда $x = 0.403 \text{ г}$ или 6.89 ммоль NaCl .

По уравнению реакции $\text{AgNO}_3 + \text{NaCl} \rightarrow \text{AgCl} + \text{NaNO}_3$ на 1 моль NaCl расходуется 1 моль AgNO_3 . Тогда на полное взаимодействие с NaCl пойдет 6.89 ммоль AgNO_3 .

Рассчитаем искомый объем по формуле: $V = n/C = 6.89 \cdot 10^{-3} / 0.41 = 1.68 \cdot 10^{-2} \text{ л} = \mathbf{16.8 \text{ мл}}$.

Рекомендации к оцениванию:

1. Расчет массового соотношения

2 балла

2. Расчет объема раствора AgNO_3

3 балла

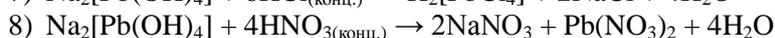
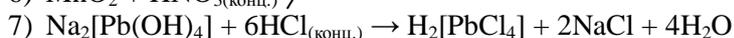
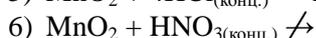
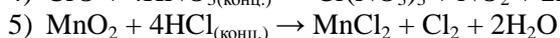
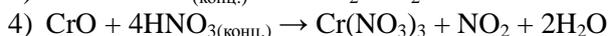
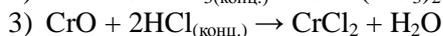
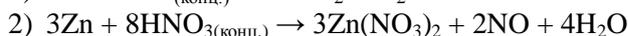
ИТОГО: 5 баллов

11 класс

№ 1

I вариант

1. Уравнения реакций:



2. Взаимодействие с платиной

$$\omega(\text{Pt}) = \frac{A_r(\text{Pt})}{M_r(\text{X})}$$

$$M_r(\text{X}) = \frac{A_r(\text{Pt})}{\omega(\text{Pt})} = \frac{195.1}{0.476} = 410$$

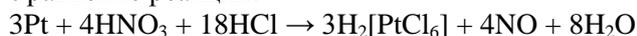
$\text{X} - \text{H}_2[\text{PtCl}_6]$

$$D_{\text{He}}(\text{Y}) = \frac{M(\text{Y})}{M(\text{He})}$$

$$M(\text{Y}) = M(\text{He}) \cdot D_{\text{He}}(\text{Y}) = 4 \cdot 7.5 = 30 \text{ г/моль}$$

$\text{Y} - \text{NO}$

Уравнение реакции:



II вариант

1. Уравнения реакций:

- 1) $\text{Mn} + 2\text{HCl}_{(\text{конц.})} \rightarrow \text{MnCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$
- 2) $3\text{Mn} + 8\text{HNO}_{3(\text{конц.})} \rightarrow 3\text{Mn}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{NO} + 4\text{H}_2\text{O}$
- 3) $\text{FeO} + 2\text{HCl}_{(\text{конц.})} \rightarrow \text{FeCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$
- 4) $\text{FeO} + 4\text{HNO}_{3(\text{конц.})} \rightarrow \text{Fe}(\text{NO}_3)_3 + \text{NO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
- 5) $\text{PbO}_2 + 4\text{HCl}_{(\text{конц.})} \rightarrow \text{PbCl}_2 + \text{Cl}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
- 6) $\text{PbO}_2 + \text{HNO}_{3(\text{конц.})} \nrightarrow$
- 7) $\text{Na}_2[\text{Sn}(\text{OH})_4] + 6\text{HCl}_{(\text{конц.})} \rightarrow \text{H}_2[\text{SnCl}_4] + 2\text{NaCl} + 4\text{H}_2\text{O}$
- 8) $\text{Na}_2[\text{Sn}(\text{OH})_4] + 4\text{HNO}_{3(\text{конц.})} \rightarrow 2\text{NaNO}_3 + \text{SnO}_2 + 2\text{NO}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$

2. Взаимодействие с палладием

$$\omega(\text{Pd}) = \frac{A_r(\text{Pd})}{M_r(\text{X})}$$
$$M_r(\text{X}) = \frac{A_r(\text{Pd})}{\omega(\text{Pd})} = \frac{106.4}{0.3314} = 320$$

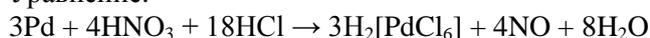
$\text{X} - \text{H}_2[\text{PdCl}_6]$

$$\rho(\text{Y}) = \frac{M(\text{Y})}{V_m}$$

$$M(\text{Y}) = \rho(\text{Y}) \cdot V_m = 1.34 \cdot 22.4 = 30 \text{ г/моль}$$

$\text{Y} - \text{NO}$

Уравнение:



Рекомендации к оцениванию:

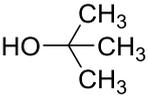
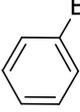
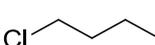
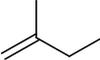
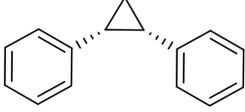
- | | |
|---|---------|
| 1. Уравнения реакций по 0.5 балла | 4 балла |
| Указание на отсутствие взаимодействия с PbO_2 (MnO_2) – 0.5 балла | |
| 2. Уравнения реакции с Pd (Pt) – 1 балл | 1 балл |
| (доказательства расчетов веществ X и Y необязательны) | |

ИТОГО: 5 баллов

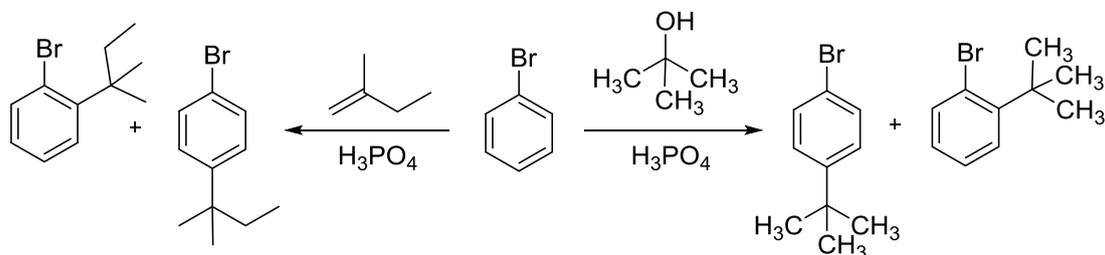
№ 2

I вариант

Неэквивалентными называются такие атомы или группы атомов, которые не могут быть сопоставлены друг с другом путём применения к ним операций симметрии. Для того, чтобы определить количество неэквивалентных протонов (химически неэквивалентных) применим к данным структурам операции симметрии. Так, последовательный поворот молекулы циклопентана **Б** на 72° вокруг проходящей через центр молекулы оси показывает, что все протоны молекулы переходят друг в друга (примем, что конформации кольца изменяются быстро). Рассмотрим молекулу 1-хлорбутана **В**: видно, что все четыре группы протонов неэквивалентны друг другу, в то время как протоны внутри каждой из метиленовых групп эквивалентны, так же как эквивалентны и протоны в составе метильной группы. Обратимся к молекуле бромбензола **Г**: при повороте этой молекулы на 180° вокруг оси, проходящей через атом брома и протон в *пара*-положении, *орто*- и *мета*-протоны соответственно переходят друг в друга, а *пара*-протон переходит сам в себя. Поэтому в молекуле бромбензола содержатся 3 типа неэквивалентных протонов. Рассмотрим отдельно случай **А** – молекулу *цис*-1,2-дифенилциклопропана. Протоны, занимающие *орто*-, *мета*- и *пара*-положения в одном из фенильных колец являются эквивалентными протонам из другого кольца; эквивалентны друг другу и метиновые протоны. В то же время, протоны метиленовой группы не эквивалентны друг другу, так как один из них находится в пространстве ближе к ароматическим заместителям, а другой – к метиновым протонам, и, таким образом, в молекуле **А** содержатся 6 неэквивалентных типов протонов.

	Б	Д	Г	В	Е	А
Структурная формула						
Количество неэквивалентных атомов водорода	1	2	3	4	5	6

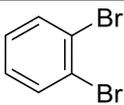
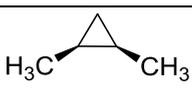
Возможные варианты химических реакций между приведёнными соединениями:



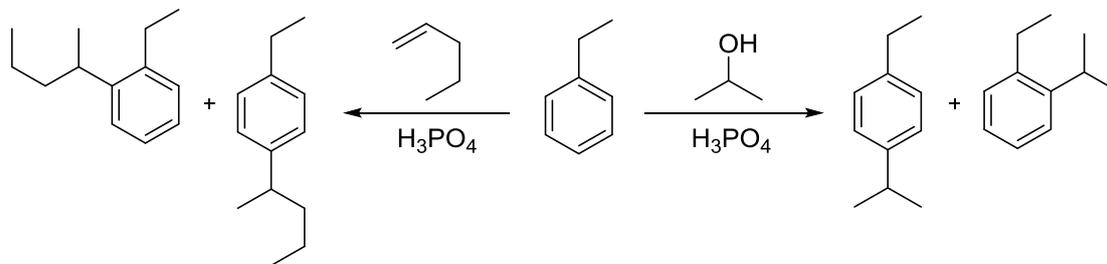
Допустимо указание *орто*-замещённого продукта, *пара*-замещённого продукта и *орто,пара*-дизамещённого продукта.

II вариант

Неэквивалентными называются такие атомы или группы атомов, которые не могут быть сопоставлены друг с другом путём применения к ним операций симметрии. Для того, чтобы определить количество неэквивалентных протонов (химически неэквивалентных) применим к данным структурам операции симметрии. Так, последовательный поворот молекулы циклогексана Г на 60° вокруг проходящей через центр молекулы оси показывает, что все протоны молекулы переходят друг в друга (примем, что конформации кольца изменяются быстро). Перейдём к случаю Б: видно, что при повороте молекулы изопропанола на 180° вокруг оси, проходящей через атом кислорода и метиновый атом углерода, протоны метильных групп переходят друг в друга. В то же время, протон метиновой группы и гидроксильный протон «уникальны». Обратимся к молекуле В, где поворот молекулы этилбензола на 180° вокруг оси, проходящей углерод метиленовой группы и четвертичный атом углерода, приводит к «превращению» друг в друга атомов водорода в *орто*- и *мета*-положениях, в то время, как *пара*-протон уникален. Рассмотрим отдельно случай А – молекулу *цис*-1,2-диметилциклопропана. Протоны метильных групп в ней являются эквивалентными; эквивалентны друг другу и метиновые протоны. В то же время, протоны метиленовой группы не эквивалентны друг другу, так как один из них находится в пространстве ближе к метильным группам, а другой – к метиновым протонам, и, таким образом, в молекуле А содержатся 4 неэквивалентных типа протонов.

	Г	Д	Б	А	В	Е
Структурная формула						
Количество неэквивалентных атомов водорода	1	2	3	4	5	6

Возможные варианты химических реакций между приведёнными соединениями:



Допустимо указание *орто*-замещённого продукта, *пара*-замещённого продукта и *орто,пара*-дизамещённого продукта.

Рекомендации к оцениванию:

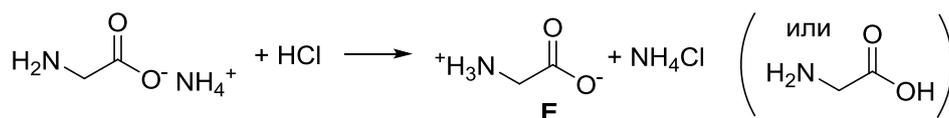
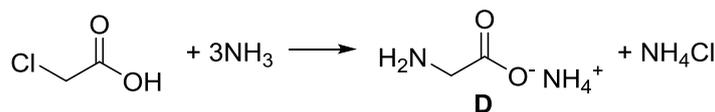
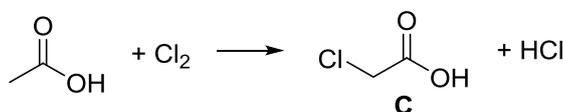
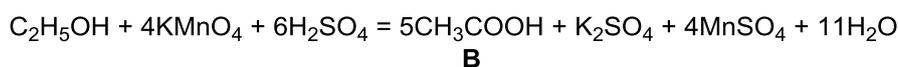
1. Количество неэквивалентных протонов для молекул **Б, В, Г, Д** по 0.5 балла 2 балла
2. Количество неэквивалентных протонов для молекул **А, Е** по 1 баллу 2 балла
3. Возможные реакции по 0.5 балла 1 балл

ИТОГО: 5 баллов

№ 3

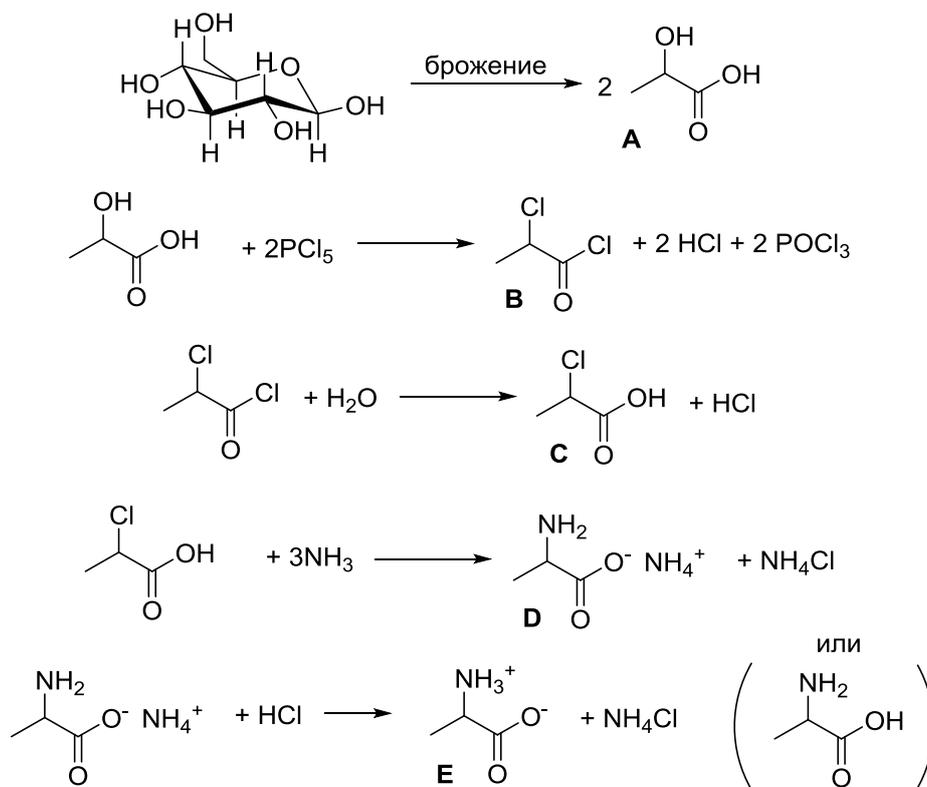
I вариант

Среди разных видов брожения выделяют спиртовое и молочнокислое брожение глюкозы, приводящие к образованию этилового спирта и молочной кислоты, соответственно. В данной задаче речь идёт именно о спиртовом брожении, что может быть определено с помощью последующего окисления перманганатом калия в кислой среде, а также по массовой доле хлора в молекуле **С**:



II вариант

Среди разных видов брожения выделяют спиртовое и молочнокислое брожение глюкозы, приводящие к образованию этилового спирта и молочной кислоты, соответственно. В данной задаче речь идёт именно о молочнокислом брожении. Это можно определить по тому, что за реакцией с пентахлоридом фосфора следует гидролиз образующегося хлорангирида **В**. В пользу молочнокислого типа брожения указывает и массовая доля хлора в молекуле **В**.



Рекомендации к оцениванию:

1. Структурные веществ **A – E** по 0.5 балла 2.5 балла
 2. Уравнения реакций по 0.5 балла 2.5 балла
- (допускается любая структурная формула глюкозы – в циклической α - или β -фо открыто-цепной форме, но не $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$)

ИТОГО: 5 баллов

№ 4

I вариант

- 1) Можно напрямую решить кубическое уравнение Гелланд-Ганзена и найти значение солёности, однако для простоты решим перебором, подставив три значения 18, 28, 41 ‰, тогда получим -0.97, -1.52 и -2.26 °C соответственно. Таким образом, образец морской воды, вероятнее всего, был взят из **Белого моря**.
- 2) Подставим в приведенную формулу $s(h)$ два значения: 23 и 60 м, тогда получим 22.5 и 28.5 ‰ соответственно. Это означает, что солёность воды **увеличится на 6.0 ‰**. Тенденция увеличения солёности морской воды с глубиной может быть объяснена **различной плотностью** разных **слоев морской воды**: чем ближе к поверхности, тем плотность и содержание растворённых веществ воды меньше.
- 3) Будет заметна видимая граница раздела двух прозрачных жидкостей из-за различия в плотностях пресной и солёной воды. Такой эффект наблюдается из-за **различных коэффициентов преломления** двух водных сред.

II вариант

- 1) Можно напрямую решить кубическое уравнение Гелланд-Ганзена и найти значение солёности, однако для простоты решим перебором, подставив три значения 18, 28, 41 ‰, тогда получим -0.97, -1.52 и -2.26 °C соответственно. Таким образом, образец морской воды, вероятнее всего, был взят из **Красного моря**.
- 2) Подставим в приведенную формулу $s(h)$ два значения: 36 и 70 м, тогда получим 24.4 и 30.4 ‰ соответственно. Это означает, что солёность воды **увеличится на 6.0 ‰**. Тенденция увеличения

солёности морской воды с глубиной может быть объяснена **различной плотностью** разных **слоев морской воды**: чем ближе к поверхности, тем плотность и содержание растворённых веществ воды меньше.

3) Будет заметна видимая граница раздела двух прозрачных жидкостей из-за **различия в плотностях** пресной и солёной воды. Такой эффект наблюдается из-за **различных коэффициентов преломления** двух водных сред.

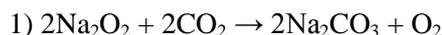
Рекомендации к оцениванию:

- | | |
|--|---------|
| 1. Определение моря (без расчетов – 0 баллов) | 2 балла |
| 2. Расчет изменения солёности (увеличение на 6.0 ‰) – 1 балл
Объяснение изменения солёности с глубиной – 1 балл | 2 балла |
| 3. Указание на границу раздела – 0.5 балла
Объяснение – 0.5 балла | 1 балл |

ИТОГО: 5 баллов

№ 5

I вариант



$$v(\text{Na}_2\text{O}_2) = \frac{1.2}{78} = 0.0154 \text{ моль} = v(\text{CO}_2)_{\text{реак.}}$$

$$v(\text{O}_2) = \frac{0.0154}{2} = 0.0077 \text{ моль}$$

Пусть изначально в сосуде объемом V л содержалось x моль CO_2 , тогда:

$$v(\text{CO}_2)_{\text{ост.}} = (x - 0.0154) \text{ моль}$$

$$v(\text{O}_2) + v(\text{CO}_2)_{\text{ост.}} = 0.0077 + x - 0.0154 = x - 0.0077 \text{ моль}$$

Воспользуемся уравнением Менделеева-Клапейрона $pV = \nu RT$ и запишем в систематических единицах измерения соответствующие выражения до и после протекания реакции:

$$\begin{cases} \frac{101325 \cdot 780}{760} \cdot V = x \cdot 8.314 \cdot 273 \\ \frac{101325 \cdot 650}{760} \cdot V = (x - 0.0077) \cdot 8.314 \cdot 273 \end{cases}$$

Решив полученную систему, найдем:

$$\begin{cases} x = 0.0462 \\ V = 0.001 \end{cases}$$

Таким образом, **объем сосуда** составлял **1 л**.



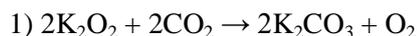
$$v(\text{Na}_2\text{O}_2) = 0.0154 \text{ моль} = v(\text{CO})_{\text{реак.}}$$

Других газов не образуется, значит, давление будет определяться оставшимся количеством угарного газа: $v(\text{CO})_{\text{ост.}} = 0.0462 - 0.0154 = 0.0308$ моль.

Согласно уравнению Менделеева-Клапейрона, давление прямо пропорционально количеству газа.

Следовательно, давление **уменьшится в $\frac{0.0462}{0.0308} = 1.5$ раза**.

II вариант



$$v(\text{K}_2\text{O}_2) = \frac{5.43}{110} = 0.0494 \text{ моль} = v(\text{CO}_2)_{\text{реак.}}$$

$$v(\text{O}_2) = \frac{0.0494}{2} = 0.0247 \text{ моль}$$

Пусть изначально в сосуде объемом V л содержалось x моль CO_2 , тогда:

$$v(\text{CO}_2)_{\text{ост.}} = (x - 0.0494) \text{ моль}$$

$$v(\text{O}_2) + v(\text{CO}_2)_{\text{ост.}} = 0.0247 + x - 0.0494 = x - 0.0247 \text{ моль}$$

Воспользуемся уравнением Менделеева-Клапейрона $pV = \nu RT$ и запишем в систематических единицах измерения соответствующие выражения до и после протекания реакции:

$$\begin{cases} \frac{101325 \cdot 720}{760} \cdot V = x \cdot 8.314 \cdot 273 \\ \frac{101325 \cdot 510}{760} \cdot V = (x - 0.0247) \cdot 8.314 \cdot 273 \end{cases}$$

Решая полученную систему, найдем:

$$\begin{cases} x = 0.0847 \\ V = 0.002 \end{cases}$$

Таким образом, **объем сосуда составлял 2 л.**



$$v(\text{K}_2\text{O}_2) = 0.0494 \text{ моль} = v(\text{SO}_2)_{\text{реак.}}$$

Других газов не образуется, значит, давление будет определяться оставшимся количеством сернистого газа: $v(\text{SO}_2)_{\text{ост.}} = 0.0847 - 0.0494 = 0.0353$ моль.

Согласно уравнению Менделеева-Клапейрона, давление прямо пропорционально количеству газа.

Следовательно, давление **уменьшится в $\frac{0.0847}{0.0353} = 2.4$ раза.**

Рекомендации к оцениванию:

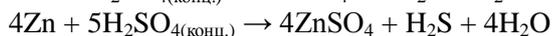
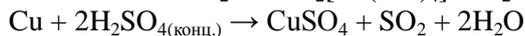
- | | |
|--|---------|
| 1. Уравнение реакции | 1 балл |
| 2. Расчет объема сосуда – 3 балла
(при верном решении, но с вычислительной ошибкой – 1.5 балла) | 3 балла |
| 3. Расчет изменения давления | 1 балл |

ИТОГО: 5 баллов

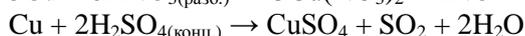
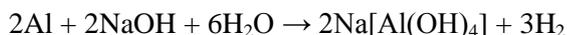
2.2. Отборочный (районный) этап. Практический тур

9 класс

I вариант



II вариант



Рекомендации к оцениванию:

- | | |
|--|-----------|
| 1. Верное определение компонентов сплава
оба компонента определены верно – 2 балла
один компонент определен верно – 1 балл | 2 балла |
| 2. Уравнения реакций по 1.5 балла | 4.5 балла |

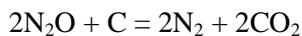
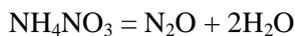
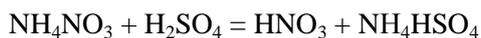
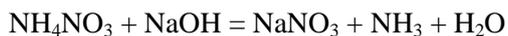
ИТОГО: 6.5 баллов

10 класс

I вариант

Посинение красной лакмусовой бумажки свидетельствует о том, что выделилось летучее основание. Следовательно, **X** – соль аммония. Синяя лакмусовая бумажка покраснела – выделилась летучая кислота. Образование бурого газа при взаимодействии с медью в присутствии серной кислоты указывает на нитрат-ион. Следовательно, **X** – нитрат аммония.

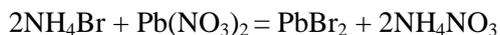
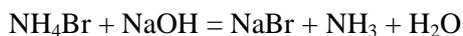
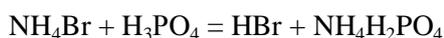
Уравнения реакций:



II вариант

Посинение красной лакмусовой бумажки свидетельствует о том, что выделилось летучее основание. Следовательно, X – соль аммония. Синяя лакмусовая бумажка покраснела – выделилась летучая кислота. Белый осадок с ионом свинца из солей летучих кислот образуют галогениды (кроме иодида). Образование бурого раствора при действии азотной кислоты позволяет сделать вывод, что искомая соль – бромид аммония

Уравнения реакций:



Рекомендации к оцениванию:

- | | |
|---|---------|
| 1. Определение вещества X | 2 балла |
| 2. Уравнения пяти реакций по 1 баллу
(если во 2-ой реакции приведена средняя соль – 0.5 балла) | 5 балла |

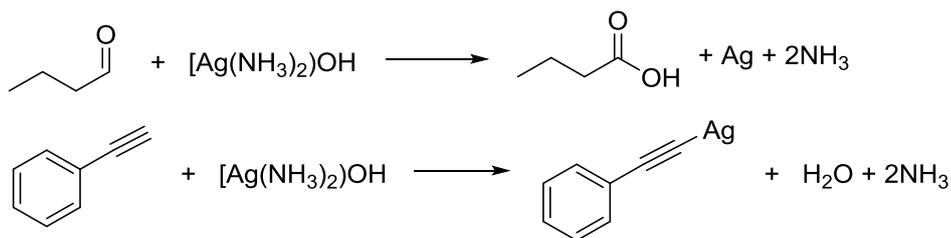
ИТОГО: 7 баллов

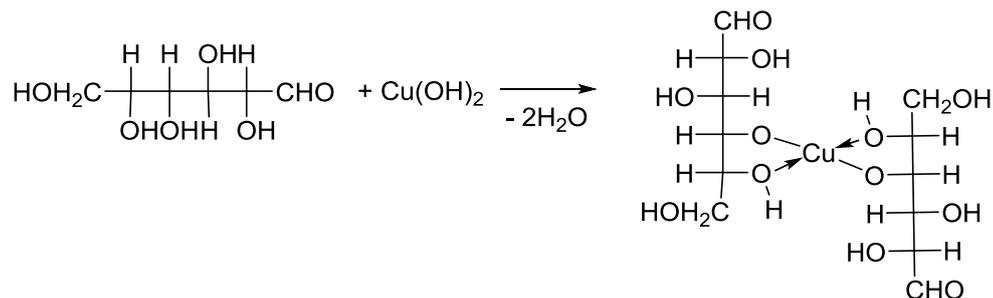
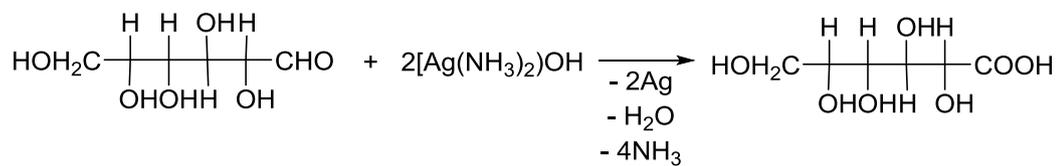
11 класс

I вариант

Пробирка 1 – бутаналь; пробирка 2 – стирол; пробирка 3 – фенилацетилен; пробирка 4 – глюкоза.

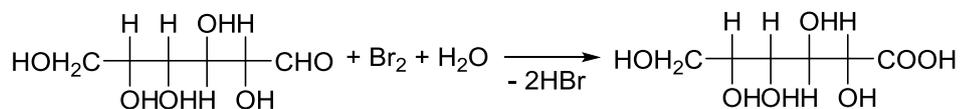
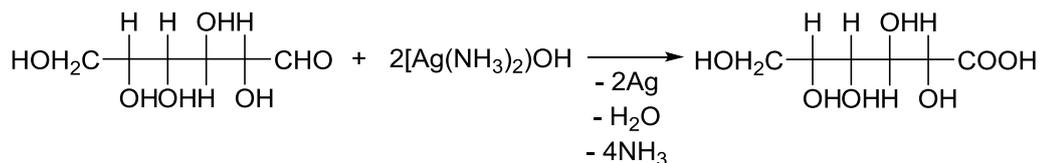
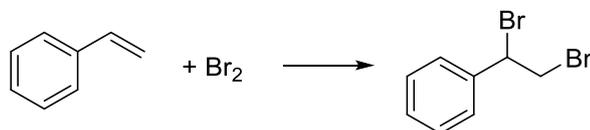
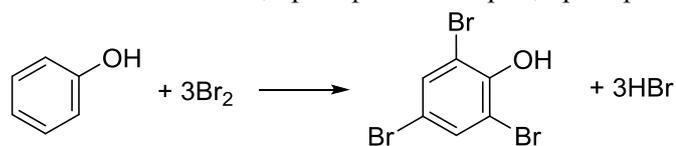
Уравнения реакций:





II вариант

Пробирка 1 – фенол; пробирка 2 – этиленгликоль; пробирка 3 – стирол; пробирка 4 – глюкоза.



Рекомендации к оцениванию:

1. Определение веществ в пробирках 1 – 4 по 1 баллу 4 балла
2. Уравнения четырёх реакций по 0.5 балла 2 балла

ИТОГО: 6 баллов

2.3. Заключительный (городской) этап. Теоретический тур

8 класс

№1

А	Г	Т	Е	Р	Ф	Е	В
Л	Р	У	Н	А	Н	О	Р
Л	И	С	И	Й	Ц	П	И
Й	Й	К	Й	И	И	Й	Й
И	Н	А	Н	Д	И	Ц	И
П	А	М	Р	Н	Й	Й	Р
О	Й	И	Е	И	Н	И	Е
Л	О	Н	Г	Х	О	А	М

Галлий (Ga) – открыт в 1875 г. французским химиком Полем Эмилем Лекоком де Буабодраном и назван в честь Франции, по её латинскому названию – Галлия (*Gallia*).

Рутений (Ru) – открыт в 1844 г. профессором Казанского университета Карлом Клаусом и назван в честь России, по её латинскому названию – Рутения (*Ruthenia*).

Скандий (Sc) – открыт в 1879 г. шведским химиком Ларсом Нильсоном и названа в честь Скандинавии.

Полоний (Po) – открыт в 1898 г. супругами Пьером Кюри и Марией Склодовской-Кюри и назван в честь родины Марии Склодовской-Кюри – Польши (лат. *Polonia*).

Германий (Ge) – открыт в 1886 г. немецким химиком Клеменсом Винклером и назван в честь Германии.

Франций (Fr) – открыт в 1939 г. французским химиком Маргаритой Перей и назван в честь Франции.

Европий (Eu) – открыт в 1896 г. и выделен в 1901 г. французским химиком Эженом Демарсе, назван в честь Европы.

Нихоний (Nh) – получен в 2004 г. в Институт физико-химических исследований Riken в Японии и назван в честь Японии, по её самоназванию на японском языке – Нихон.

Америций (Am) – получен в 1944 г. американским химиком Гленном Сиборгом и назван в честь Америки.

Из приведенных элементов наименьшее число протонов содержит атом скандия (21).

Уравнение реакции: $4\text{Sc} + 3\text{O}_2 = 2\text{Sc}_2\text{O}_3$

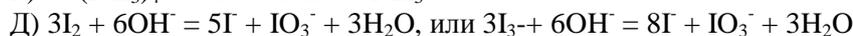
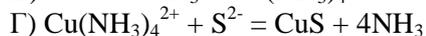
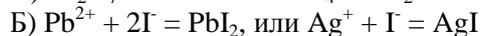
Рекомендации к оцениванию:

- | | |
|---|-----------|
| 1. Найденные названия – по 0.5 балла | 4.5 балла |
| 2. Символы химических элементов – по 0.5 балла | 4.5 балла |
| 3. Указание на скандий | 0.5 балла |
| 4. Уравнение реакции – 0.5 балла (не уравненное – 0.25 балла) | 0.5 балла |

ИТОГО: 10 баллов

№2

Поскольку число комбинаций достаточно велико, уравнения реакций приведены ниже в ионном виде; в качестве ответа принимается любой вариант с растворимыми (в случае исходных веществ) солями, содержащими данные ионы.



Рекомендации к оцениванию:

1. Уравнения 5 реакций по 2 балла (при наличии ошибок в коэффициентах ставится половина баллов за соответствующую реакцию) 10 баллов

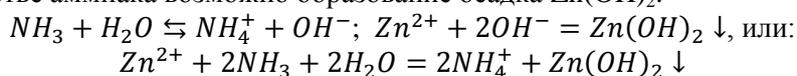
ИТОГО: 10 баллов

Пусть хлориды имеют состав XCl_n и YCl_n . Запишем соотношение массовых долей хлора:

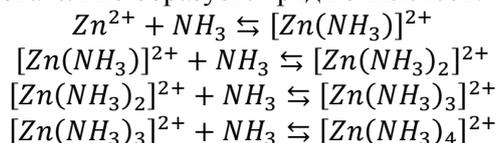
$$\frac{\omega_{YCl_n}(Cl)}{\omega_{XCl_n}(Cl)} = \frac{\frac{35.5n}{M_Y + 35.5n}}{\frac{35.5n}{M_X + 35.5n}} = \frac{M_X + 35.5n}{M_Y + 35.5n} = \frac{17}{10} \Rightarrow M_X = \frac{17M_Y + 248.5n}{10}$$

Теперь следует подумать, о каких хлоридах может идти речь. Если $n = 1$, то в задаче рассматриваются щелочные металлы (галлий, медь, серебро и другие не подходят т.к. они способны образовывать хлориды в других степенях окисления). Если $n = 2$, аналогично: это щелочноземельные элементы, а также это могут быть цинк, никель, вероятно, кадмий и т.д. Следует отметить высокое соотношение массовых долей хлорида, которое говорит, что масса одного из элементов существенно выше массы другого элемента (хотя бы в 2-3 раза). Поэтому $n = 3$ фактически можно отбросить: это могут быть алюминий и редкоземельные элементы (хотя для последних возможно образование хлоридных кластеров, из-за чего не подходят скандий и иттрий), однако среди РЗЭ очень малое соотношение их масс, а алюминий легко подставить в формулу и найти $M_X = 120.5$: не похоже на редкоземельные элементы, а для сурьмы возможно образование нескольких хлоридов. Поэтому следует ограничиться рассмотрением $n = 1$ и 2. Легко убедиться, что ни один щелочной металл не подходит. Рассматривая $n = 2$ следует начать рассмотрение с самого лёгкого Y (Be), подставив $M_Y = 9$ мы получим $M_X = 65$: тогда $X = Zn$, $Y = Be$, хлориды $BeCl_2$ и $ZnCl_2$.

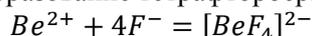
При малом количестве аммиака возможно образование осадка $Zn(OH)_2$:



При добавлении большого количества аммиака, осадок или растворяется (если добавление медленное): $Zn(OH)_2 + xNH_3 = [Zn(NH_3)_x] + 2OH^-$ (если в ответе приведена только эта реакция, то засчитывать за верную следует **только** реакцию, где $x = 4$), или вообще не образуется (при быстром смешивании). При этом последовательно образуется ряд комплексов:



При реакции Be^{2+} с F^- происходит образование тетрафторбериллата:



Неверно указывать образование BeF_2 т.к. он хорошо растворим в воде. Незнание о средстве бериллия к фтору может привести к выводу о гидролизе фторида аммония и образовании гидроксида или гидроксифторида бериллия: данный вариант также маловероятен, т.к. возможный гидролиз фторид-иона подавляется ионом NH_4^+ , однако этот вариант можно учесть на минимальный балл.

Рекомендации к оцениванию:

1. Определение хлоридов по 1.5 балла

При любых разумных мыслях (в частности, что $n = 1$ или 2) 0.75 балла в случае, если размышления участника могут привести его к правильному ответу.

3 балла

2. Рассмотрение реакции Zn^{2+} с аммиаком: за образование гидроксида 1 балл, за возможность образования растворимого комплекса $[Zn(NH_3)_4]^{2+}$ 1 балл, за указание последовательности реакций комплексообразования 1 балл. *Если реакции записаны не в сокращённо-ионном виде, то за пункт ставится 0 баллов*

3 балла

3. Реакция образования комплекса 4 балла.

Если реакция записана не в сокращённо-ионном виде, то за пункт ставится 0 баллов. Если написана реакция образования осадка BeF_2 , то следует ставить 0.5 баллов. За рассмотрение процесса гидролиза с образованием осадка, содержащего OH-группы ($Be(OH)F$ или $Be(OH)_2$) следует ставить 1 балл.

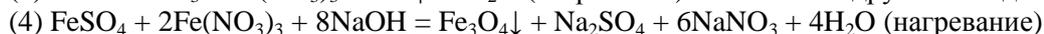
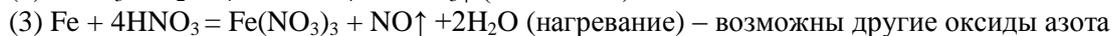
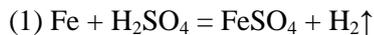
4 балла

ИТОГО: 10 баллов

№ 4

Жидкость для заправки свинцовых аккумуляторов – H_2SO_4 ; гвозди - Fe; медная проволока – Cu; азотные удобрения для комнатных растений – KNO_3 (NaNO_3); рассол для огурцов – NaCl; карандашный грифель - C; столовый уксус – CH_3COOH ; жидкость для очистки труб – NaOH.

Последовательность синтеза:



Рекомендации к оцениванию:

1. Вещества – по 0,5 балла 4 балла
2. Реакции: (1) и (3) по 1 баллу, (2) и (4) по 2 балла (если предложен иной путь решения в большее число стадий – штраф 2 балла. При наличии ошибок в коэффициентах ставится половина баллов за соответствующую реакцию). 6 баллов

ИТОГО: 10баллов

№ 5

1) Формула двенадцативодного сульфата аммония-хрома: $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$

2) Квасцы – это тип химического соединения, обычно гидратированная двойная сульфатная соль трёх- и одновалентных металлов с общей формулой $\text{XM}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, где X – одновалентный катион, такой как калий или аммоний, а M – трёхвалентный катион, например, алюминий или хром. Кристаллогидрат, двойная соль.

3) Пусть в 100 г раствора содержится X г $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ и Y г воды. $M((\text{NH}_4)_2\text{Cr}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}) = 18 + 52 + 32 \cdot 2 + 64 \cdot 2 + 12 \cdot 18 = 234 + 192 + 52 = 478$ г/моль, $M(\text{H}_2\text{O}) = 18$ г/моль.

Водород: $4 + 24 = 28$ г в 478 г квасцов, а г в X г квасцов; $a = 28X/478$ г

2 г в 18 г воды, с г в Y г воды; $c = 2Y/18$ г. Тогда:

$$X + Y = 100$$

$$(a + c)/100 = 0,105$$

$$28X/478 + (100 - X)/9 = 10,5; X = 11,6 \text{ г квасцов.}$$

В 478 г квасцов содержится 52 г хрома.

В 11,6 г квасцов содержится z г хрома, $z = 11,6 \cdot 52/478 = 1,26$ г Cr,

то есть массовая доля хрома (а масса раствора 100 г) составляет 1,26 %.

4) Применение квасцов: протрава при крашении шерстяных и хлопчатобумажных пряжи и тканей, дубящие средства в кожевенной промышленности, в медицине как вяжущее, прижигающее и кровоостанавливающее средство.

Рекомендации к оцениванию:

1. Формула квасцов 1 балл
2. Тривиальное название 1 балл
3. Составление системы уравнений для расчета 3 балла
4. Определение содержания хрома 4 балла
5. Указание сфер применения квасцов 1 балл

ИТОГО: 10 баллов

№ 6

Имя Светлячок указывает на способность соответствующего элемента светиться. Такой способностью обладает фосфор, как следует из его названия (φωσφόρος — светоносный). Фосфор находится в третьем периоде ПСХЭ.

Стойкость Непоколебимого и его способность переносить жару, а также лампы в доме намекают на вольфрам, который используется в лампах накаливания и находится в шестом периоде ПСХЭ.

Проблемы с щитовидной железой у Гормона связаны с недостатком йода – элемента, который входит в состав гормонов щитовидной железы. Йод находится в пятом периоде ПСХЭ.

Умник – Альберт Эйнштейн, которому соответствует элемент Эйнштейний, находящийся в седьмом периоде ПСХЭ (актиноиды относятся к седьмому периоду).

Имя Простачок и его молодость указывают на водород, как на самый легкий элемент, который имеет всего лишь один электрон. Водород находится в первом периоде ПСХЭ.

Из описания Крушителя следует, что ему соответствует реакционноспособный элемент. Также есть указание на то, что для счастья ему необходим один электрон. То есть Крушителю соответствует элемент с одним недостающим до полностью заполненной электронной оболочки электроном. Под такое описание подходит фтор, помимо того название фтор переводится с греческого как «разрушительный». Фтор находится во втором периоде ПСХЭ.

Последний гном, Токсик соответствует мышьяку, соединения которого использовались с древних времен как отравы. Мышьяк находится в четвертом периоде ПСХЭ.

Гном	Светлячок	Непоколебимый	Гормон	Умник	Простачок	Крушитель	Токсик
Элемент	P	W	I	Es	H	F	As
Период	3	6	5	7	1	2	4
Агрегатное состояние	Тв.	Тв.	Тв.	Тв.	Г.	Г.	Тв.

Продукт реакции Светлячка и Крушителя: PF_3 или PF_5 , Простачка и Гормона – HI.

Рекомендации к оцениванию:

- | | |
|---|------------|
| 1. Правильно определены пары гном-элемент (0,5 балла за пару) | 3.5 балла |
| 2. Правильно определены пары гном-период (0,3 балла за пару) | 2.1 балла |
| 3. Агрегатные состояния простых веществ, по 0.4 балла за вещество | 2.8 баллов |
| 4. Формулы двух продуктов, по 0.8 балла | 1.6 баллов |

ИТОГО: 10 баллов

№ 7

Уравняем реакцию: $2KNO_3 + 3C + S = K_2S + N_2 + 3CO_2$

Молярная масса серы – 32 г/моль, углерода – 12 г/моль, нитрата калия – 101 г/моль.

1) Чтобы вещества реагировали без остатка их нужно взять в количествах веществ, пропорциональных коэффициентам в уравнении реакции. Тогда на 1 моль серы (32 г) необходимо 3 моля углерода ($12 \cdot 3 = 36$ г) и 2 моля нитрата калия ($101 \cdot 2 = 202$ г). Суммарная масса равна $32 + 36 + 202 = 270$ (г).

Массовая доля серы: $\omega(S) = 32/270 = 0.1185$ (или $\approx 12\%$). Массовая доля углерода: $\omega(C) = 36/270 = 0.1333$ (или $\approx 13\%$). Массовая доля нитрата калия: $\omega(C) = 202/270 = 0.7481$ (или $\approx 75\%$).

2) Газообразными продуктами реакции являются азот и углекислый газ. Как следует из предыдущего пункта, в 1 г смеси содержится 0.1185 г серы. Количество вещества серы: $\nu(S) = 0.1185/32 = 0.0037$ (моль). По уравнению реакции видно, что количество вещества выделившихся газов в 4 раза больше количества вещества серы: $\nu(\text{газов}) = 0.0037 \cdot 4 = 0.0148$ (моль). Их объем при нормальных условиях (0 °C, 1 атм): $V(\text{газов}) = 0.0148 \cdot 22.4 = 0.33$ (л).

3) Рассчитать давление можно по уравнению Менделеева-Клапейрона: $pV = nRT$, откуда $p = nRT/V$. $n = 0.0148$ моль; R (универсальная газовая постоянная) = 8.31 Дж/(моль·К); $T = 3000 + 273 = 3273$ К; $V = 1 \cdot 10^{-6}$ м³; 1 атм = 101325 Па.

$p = 0.0148 \cdot 8.31 \cdot 3273 / 1 \cdot 10^{-6} = 4.03 \cdot 10^8$ (Па).

Рекомендации к оцениванию:

- | | |
|--|---------|
| 1. Верные коэффициенты в уравнении | 1 балл |
| 2. Массовые доли компонентов – по 1 баллу | 3 балла |
| 3. Использование молярного объема 22.4 л | 1 балл |
| 4. Общая формула или подход к нахождению объема | 1 балл |
| 5. Верно рассчитанный объем газов | 1 балл |
| 6. Использование уравнению Менделеева-Клапейрона | 1 балл |
| 7. Верные исходные значения для расчета | 1 балл |

8. Верно рассчитанное давление

1 балл

ИТОГО: 10 баллов

9 класс

№ 1

В исходной смеси на 1 л CO приходится 1,2 л газообразной воды. Объемный состав смеси: $\varphi(\text{CO}) = 100 \cdot 1:2.2 = 45,45\%$; $\varphi(\text{H}_2\text{O}) = 100 \cdot 1.2/2.2 = 54,55\%$. $M(\text{исх. смеси}) = 0.4545 \cdot 28 + 0.5455 \cdot 18 = 12.73 + 9.82 = 22.55$ г/моль. Тогда $w(\text{CO}) = 100 \cdot 12.73/22.55 = 56,45\%$, $w(\text{H}_2\text{O}) = 100 \cdot 9.82/22.55 = 43.55\%$. Обратим внимание на конечную смесь. Уравнение реакции: $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} = \text{CO}_2 + \text{H}_2$

Компонент	CO	H ₂ O	CO ₂	H ₂
Было	a	1,2a	-	-
Прореагировало	a-0.77a	1.2a-0.77a	0.35*2.2a	0.35*2.2a=0.77a
Стало	0.23a	0.43a	0.77a	0.77a

Объемный состав см.еси: $\varphi(\text{CO}) = 100 \cdot 0.23a:2,2a = 10.45\%$; $\varphi(\text{H}_2\text{O}) = 100 \cdot 0.43a/2.2a = 19.55\%$; $\varphi(\text{CO}_2) = 100 \cdot 0.77a/2.2a = 35,00\%$; $\varphi(\text{H}_2) = 100 \cdot 0.77a/2.2a = 35,00\%$. $M(\text{кон. смеси}) = 0.1045 \cdot 28 + 0.1955 \cdot 18 + 0.35 \cdot 44 + 0.35 \cdot 2 = 2.926 + 3.519 + 15.4 + 0.7 = 22.545$ г/моль. Тогда $w(\text{CO}) = 100 \cdot 2.926/22.545 = 12.98\%$; $w(\text{H}_2\text{O}) = 100 \cdot 3.519/22.545 = 15.61\%$; $w(\text{CO}_2) = 100 \cdot 15.4/22.545 = 68.31\%$; $w(\text{H}_2) = 100 \cdot 0.7/22.545 = 3.10\%$.

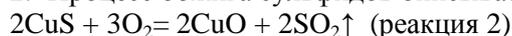
Рекомендации к оцениванию:

1. Определение состава исходной смеси (объемные %) 2 балла
2. Определение состава конечной смеси (объемные %) 4 балла
3. Определение состава исходной смеси (массовые %) 2 балла
4. Определение состава конечной смеси (массовые %) 2 балла

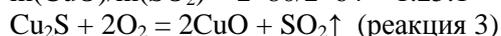
ИТОГО: 10 баллов

№ 2

1. Из соединений меди, которые могут образовываться в описываемых условиях, можно рассматривать CuO, CuS и Cu₂S. Все они имеют черную окраску. Оксид в кислой среде не образуется.
2. Процесс обжига сульфидов описывается следующими уравнениями:

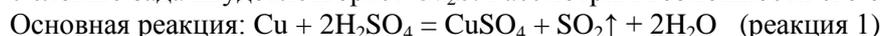


$$m(\text{CuO})/m(\text{SO}_2) = 2 \cdot 80/2 \cdot 64 = 1.25:1$$



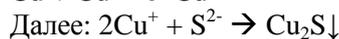
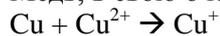
$$m(\text{CuO})/m(\text{SO}_2) = 2 \cdot 80/64 = 2.5:1$$

Условие задачи удовлетворяет Cu₂S. Рассмотрим возможности его образования.



Однако серная кислота восстанавливается и более глубоко (частично), например, до сульфид-иона.

Медь, в свою очередь может частично участвовать в реакции:



В окончательном варианте:



Рекомендации к оцениванию:

1. Указание возможных соединений меди черной окраски по 0,5 балла 1.5 балла
2. Количественное определение состава осадка как Cu₂S 2 балла
3. Качественное определение состава осадка как Cu₂S 1 балл
4. Уравнение основной реакции 1 балл
5. Возможность образования Cu⁺ и сульфид иона 1.5 балла
6. Полное уравнение реакции с указанием признаков реакции 3 балла

ИТОГО: 10 баллов

№ 3

1. Определить металл, входящий в состав соединений, можно с помощью закона эквивалентов:

$$\frac{\mathcal{E}_M}{\mathcal{E}_O} = \frac{\omega_M}{\omega_O},$$

где \mathcal{E} – эквивалентные массы, а ω – массовые доли металла и кислорода, соответственно.

Тогда: $\frac{\mathcal{E}_M}{8.0} = \frac{86.62}{13.38}$, отсюда $\mathcal{E}_M = 51.8$. Перебирая возможные степени окисления (n), найдем для $n=4$ молярную массу металла $51.8 \times 4 = 207.2$. Это – **свинец**.

2. Очевидно, что масса свинца во всех соединениях **I** – **V** одинакова и составляет 866.2 мг, остальное – кислород. Для дальнейшего решения удобно составить таблицу:

Вещество	Масса свинца (мг)	Масса кислорода (мг)	$\omega(\text{Pb})$ (%)	$\omega(\text{O})$ (%)
I	866.2	1000 – 866.2 = 133.8	86.62	13.38
II	866.2	972.1 – 866.2 = 105.9	89.106	10.894
III	866.2	961.0 – 866.2 = 94.8	90.135	9.865
IV	866.2	955.4 – 866.2 = 89.2	90.66	9.34
V	866.2	933.1 – 866.2 = 66.9	92.83	7.17

Для определения индексов x и y в соединениях типа A_xB_y удобно воспользоваться соотношением $x:y = \frac{\omega_A}{A_A} : \frac{\omega_B}{A_B}$, где A – атомные массы соответствующих элементов. Тогда

Вещество	$\frac{\omega_{\text{Pb}}}{A_{\text{Pb}}} : \frac{\omega_{\text{O}}}{A_{\text{O}}}$	$x:y$	Формула соединений
I	0.418:0.836	1:2	PbO₂
II	0.430:0.681	12:19	Pb₁₂O₁₉
III	0.435:0.616	12:17	Pb₁₂O₁₇
IV	0.438:0.584	3:4	Pb₃O₄
V	0.488:0.488	1:1	PbO

Значения $x:y$ для **I** и **V** легко получаются делением на меньшее число во втором столбце. Для соединения **IV** такое деление даёт соотношение 1:1.33. Умножив на 3, получаем 3:4. Сложнее определить индексы для веществ **II** и **III**. Деление на наименьшее число даёт соотношения 1:1.58 и 1:1.42, соответственно. Наименьшим числом, при умножении на которое получаются целочисленные индексы, является 12.

3. Соединение **IV** (Pb_3O_4), сурик, имеет интенсивный красный цвет и широко используется в производстве красок.

Задача составлена на основании статьи: J.S. Anderson, M. Sterns. *J. Inorg. Nuclear. Chem.*, **1959**, *11*, 272–285.

Рекомендации к оцениванию

- | | |
|--|---------|
| 1. Определение свинца | 2 балла |
| 2. Расчет индексов и определение формул веществ I , IV , V по 1 баллу | 3 балла |
| 3. Расчет индексов и определение формул веществ II , III по 2 балла | 4 балла |
| 4. Цвет сурика и его использование как пигмента | 1 балл |

ИТОГО: 5 баллов

№ 4

Остаток, растворимый лишь в плавиковой кислоте, скорее всего, оксид кремния – SiO_2 (**B**). Растворение в воде и качественный анализ с нитратом серебра свидетельствуют о наличии хлорид-иона. Соль – хлорид. Растворение в концентрированной серной кислоте с выделением газа – или металл или соль. В первом варианте – выделившийся газ **D** – или сероводород или SO_2 . В случае хлорида выделяющийся газ – HCl (**D**). Он хорошо растворяется в воде, образуя раствор соляной кислоты. Металл (**A**) растворяется в этом растворе с выделением **водорода** (**E**) и образованием соли. Реакция соли с гидроксидом калия приводит к образованию нерастворимого в воде гидроксида переходного металла, меняющего окраску под воздействием кислорода воздуха. По характеру окраски – это гидроксиды железа: **F** – $\text{Fe}(\text{OH})_2$, **G** – $\text{Fe}(\text{OH})_3$. В концентрированной серной кислоте

железо не растворяется из-за пассивации. Таким образом: **A – Fe, B – SiO₂, C – MCl, D – HCl, E – H₂, F – Fe(OH)₂, G – Fe(OH)₃** (допустимо указание Fe(OH)₃, Fe₂O₃*nH₂O и FeO(OH)₂).

$n(\text{HCl}) = pV/RT = 755 \cdot 6000 / 62400 \cdot 293 = 0,248$ моль. Это означает, что в составе смеси содержится 0.23 моль хлорида.

	LiCl	LiCl	KCl	RbCl	CsCl
М г/моль	42,44	58,5	74,5	121	168,4
м, г	10,52	14,58	18,48	30,0	41,76

Если учесть массу железа, то подходит только хлорид лития и $m(\text{LiCl}) = 10,52$ г.

$n(\text{H}_2) = pV/RT = 755 \cdot 2400 / 62400 \cdot 293 = 0,099 = 0,1$ моль. Это означает, что в составе смеси содержится 0.1 моль Fe. $m(\text{Fe}) = 5,6$ г

Тогда $m(\text{SiO}_2) = 19,04 - 10,52 - 5,6 = 2,92$ г, $n(\text{SiO}_2) = 0,049$ моль

1. Состав смеси в весовых процентах: $\omega(\text{Fe}) = 100 \cdot 5,6 / 19,04 = 29,4\%$

$$\omega(\text{SiO}_2) = 100 \cdot 2,92 / 19,04 = 15,3\%$$

$$\omega(\text{LiCl}) = 100 \cdot 10,52 / 19,04 = 55,3\%$$

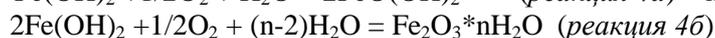
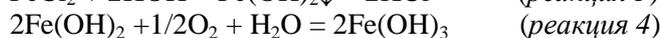
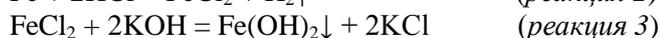
2. Состав смеси в мольных процентах. Общее число моль = $0,1 + 0,049 + 0,23 = 0,379$ моль:

$$\omega(\text{Fe}) = 100 \cdot 0,1 / 0,379 = 26,4\%$$

$$\omega(\text{SiO}_2) = 100 \cdot 0,049 / 0,379 = 12,9\%$$

$$\omega(\text{LiCl}) = 100 \cdot 0,23 / 0,379 = 60,7\%$$

3. Уравнения реакций:

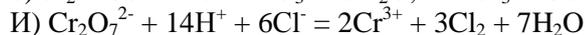
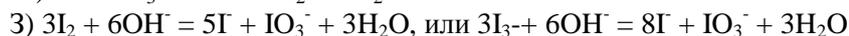
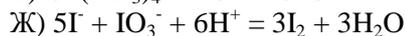
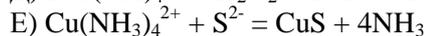
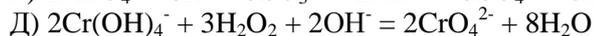
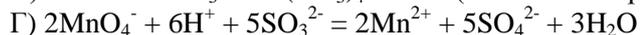
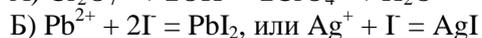


Рекомендации к оцениванию:

- | | |
|--|-----------|
| 1. Определение веществ A-G по 0,5 балла | 3,5 балла |
| 2. Уравнения реакций по 0,75 балла | 3 балла |
| 3. Количественный состав смеси в весовых % | 1,5 балла |
| 4. Нахождение лития | 1 балл |
| 5. Количественный состав смеси в мольных % | 1 балл |

ИТОГО: 10 баллов

№ 5



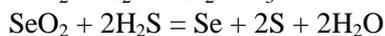
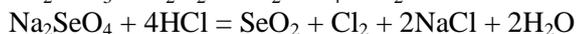
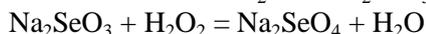
Рекомендации к оцениванию

1. Уравнения 10 реакций по 1 баллу (при наличии ошибок в коэффициентах 10 баллов ставится половина баллов за соответствующую реакцию)

ИТОГО: 10 баллов

№ 6

Олеум – это раствор оксида серы (VI) в серной кислоте, тогда простое вещество **X** – селен или теллур. Определим массовую долю водорода в соединении **Y**: $100 - 37.21 - 61.24 = 1.55\%$. Представим формулу искомого вещества как $H_aX_bO_c$, тогда $a : b : c = \frac{1.55}{1} : \frac{61.24}{x} : \frac{37.21}{16}$, где x – относительная атомная масса неизвестного элемента. Последовательно подставляя в соотношение молярные массы селена и теллура, получаем целочисленное решение только в случае с селеном, а именно: $a : b : c = 2 : 1 : 3$, следовательно **X** – селен, а **Y** – селенистая кислота H_2SeO_3 .



Рекомендации к оцениванию:

- | | |
|---|----------|
| 1. Определение веществ X и Y 2 балла (1.5 балла за Y и 0.5 балла за X) | 2 балла |
| 2. Формулы веществ A–C по 1 баллу | 3 балла |
| 3. Уравнения реакций по 1 баллу | 5 баллов |

ИТОГО: 10 баллов

№ 7

A – NH_3 ;

B – NF_3 ;

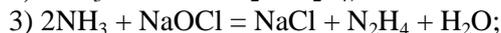
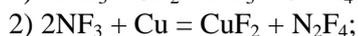
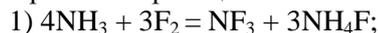
C – N_2F_4 ;

D – N_2H_4 ;

E – *транс*- N_2F_2 ;

F – *цис*- N_2F_2 ;

Уравнения реакций:



Гидразин (тривиальное название) применяется в качестве компонента ракетного топлива, в производстве пластмасс, резин, инсектицидов. Вещества **E** и **F** называются изомерами

Рекомендации к оцениванию:

- | | |
|--|-----------|
| 1. Формулы соединений A–E по 0.5 балла, 2.5 балла (<i>брутто-формула оценивается только для соединения E, для F не оценивается</i>) | 2.5 балла |
| 2. Структурные формулы соединений E, F , по 1 баллу (<i>аналогично оценивать структурные формулы, если они соотнесены наоборот</i>) | 2 балла |
| 3. Уравнения реакций, по 1 баллу | 4 балла |
| 4. Тривиальное название | 0.5 балла |
| 5. Упоминание понятия изомер | 0.5 балла |
| 6. Область применения | 0.5 балла |

ИТОГО: 10 баллов

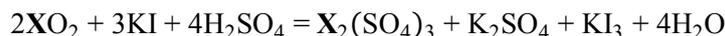
10 класс

№ 1

1) Видно, что больших атомов (металла) 8 в вершинах ячейки и один в центре. Атомы в вершинах принадлежат одновременно восьми ячейкам, поэтому число атомов металла в элементарной ячейке $1 + \frac{8}{8} = 2$. Аналогично можно заметить, что 2 атома кислорода лежат внутри элементарной ячейки, а 4

атома кислорода на её гранях, т.е. суммарный вклад в элементарную ячейку $2 + \frac{4}{2} = 4$. Значит, стехиометрия оксида $2:4 = 1:2$ (XO_2).

2) Так как степень окисления металла X в оксидах A и B различается на единицу, то X из степени окисления +4 переходит в степень окисления +3:



Красно-бурый цвет раствора связан с тем, что иод не присутствует в растворе в свободном виде: он связывается в триодид-ион ($\text{I}_2 + \text{I}^- = \text{I}_3^-$), который придаёт красную окраску.

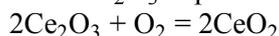
3) Реакция с участием тиосульфата натрия:



На титрование аликвоты 10 мл ушло 23.24 мл раствора тиосульфата натрия (1.162 ммоль), значит на титрование всех 50 мл ушло бы 5.811 ммоль тиосульфата натрия. Из уравнений реакций очевидно, что число молей затраченного тиосульфата равно количеству вещества оксида A (5.811 ммоль).

Значит, его молярная масса $M_{\text{A}} = 10^3 \cdot \frac{1}{5.811} = 172.1$ г/моль.

4) Зная стехиометрию A (XO_2) и его молярную массу, легко получить молярную массу X : $M_{\text{X}} = 172.1 - 16 \cdot 2 = 140.1$ г/моль, это церий (Ce). Тогда, нетрудно получить, что $\text{A} = \text{CeO}_2$, а учитывая, что B (по условию) – оксид церия (III), то $\text{B} = \text{Ce}_2\text{O}_3$. Уравнение реакции:



5) Кислотно-основные свойства оксидов A и B : основные оксиды

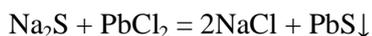
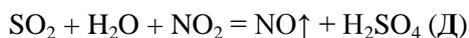
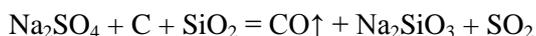
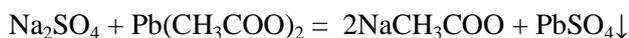
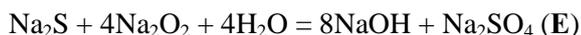
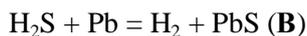
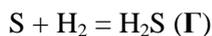
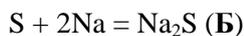
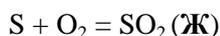
Рекомендации к оцениванию:

1. Определение стехиометрии оксида A	1 балл
2. Уравнение реакции окисления иода	2 балла
3. Уравнение реакции иод + тиосульфат	1 балл
4. Штрафы за реакцию с иодом вместо триодида	По -0,5 балла
5. За A , B и X по 1 баллу	
Уравнение реакции окисления B	1 балл
Уравнение реакции окисления B	4 балла
6. Кислотно-основные свойства оксидов A и B - по 1 баллу	2 балла
ИТОГО:	10 баллов

№2

Зашифрованные вещества и уравнения реакций:

S (A)



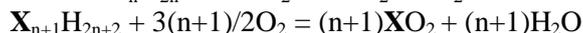
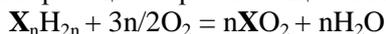
Рекомендации к оцениванию:

1. Определение веществ **A–З** - по 0,5 балла. Если не указано выделение газа или образование осадка, то 0.25 балла за соответствующую реакцию. 4 балла
2. Уравнения химических реакции - по 0,5 балла 6 балла

ИТОГО: 10 баллов**№3**

Ряды водородных соединений образуют элементы В, С, Si, Р. Однако из всех этих элементов только С и Si образуют ряды водородных соединений с общими формулами X_nH_{2n+2} и X_nH_{2n} . Силаны намного более реакционноспособны своих углеродных аналогов – алканов. Поэтому простое рассуждение приводит к тому, что вещества **A** и **B** принадлежат классу силанов. Более того, с общей формулой Si_nH_{2n} известно лишь два соединения - Si_5H_{10} и Si_6H_{12} , которые называются *циклопентасилан* и *циклогексасилан*, названия образованы аналогично названиям циклоалканов, но с добавкой корня «силан».

У данной задачи также существует численное решение, которое предполагается в качестве основного. Запишем общие уравнения реакций горения веществ **A** и **B**:



Рассчитаем общее количество вещества воды:

$$n = \frac{18.9}{18} = 1.05 \text{ моль}$$

Пусть количество вещества **B** – у моль. Тогда кол-во вещества **A** – 3у моль. С учётом уравнений реакции запишем выражение для общего количества вещества выделившейся воды:

$$(n + 1)y + 3ny = 1.05 \text{ моль}$$

Откуда у:

$$y = \frac{1.05}{4n + 1}$$

Тогда, зная разность масс образующегося оксида в двух реакциях, можно записать:

$$3 \frac{1.05}{4n + 1} n(X + 32) - \frac{1.05}{4n + 1} (n + 1)(X + 32) = 27$$

Упростим это выражение:

$$\frac{1.05}{4n + 1} (X + 32)(2n - 1) = 27$$

С учётом того, что в соединениях нет кратных связей, можно сделать вывод, что речь идёт о предельных циклах, которые начинаются с n = 3, 4, 5, 6 и так далее. Подставляя эти целые числа, получим, что единственное подходящее по химическому смыслу $X = 28$ г/моль, что соответствует кремнию, получается при n = 5. Тогда соединения **A** – Si_5H_{10} и **B** - Si_6H_{12} . Расчёт состава смеси:

$$y = 1.05/21 = 0.05 \text{ моль вещества B}$$

$$3y = 0.15 \text{ моль вещества A}$$

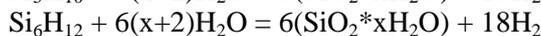
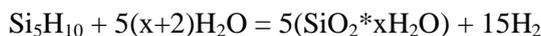
$$m(\mathbf{A}) = 22.5; m(\mathbf{B}) = 9 \text{ г. } w(\mathbf{A}) = 71.4 \% ; w(\mathbf{B}) = 28.6 \%$$

Структурные формулы, удовлетворяющие условию:



Названия: **A** – *циклопентасилан*, **B** – *циклогексасилан*.

Реакции гидролиза:

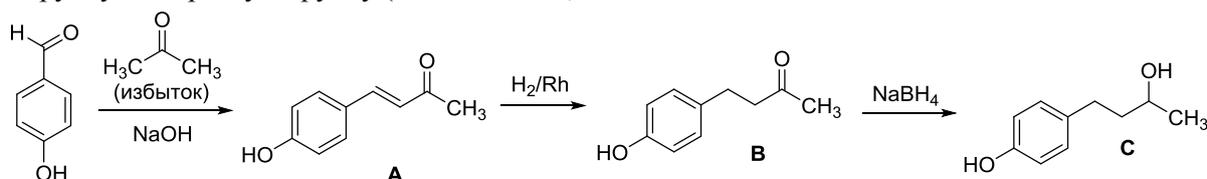


Рекомендации к оцениванию:

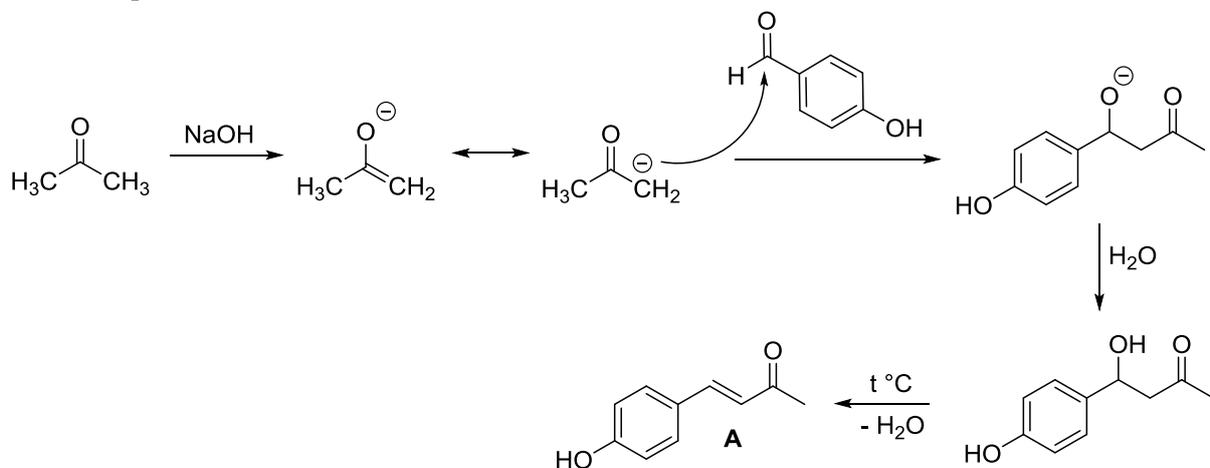
- | | |
|---|----------|
| 1. Определение элемента X , соединений A и B расчётом – 5 баллов (Элемент X – 2 балла, определение брутто формул A и B – по 1.5 балла. Без расчётов за элемент X ставится 0.5 балла) | 5 баллов |
| 2. Верные структурные формулы по 1 баллу | 2 балла |
| 3. Названия по 0.5 балла | 1 балл |
| 4. Расчёт состава смеси | 1 балл |
| 5. Уравнения реакций гидролиза по 0.5 балла | 1 балл |

ИТОГО: 10 баллов**№4**

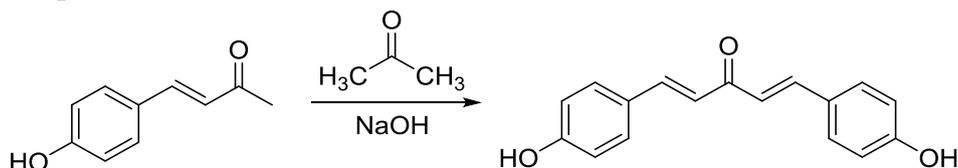
В результате реакции конденсации ацетона и *p*-гидроксибензальдегида, протекающей под действием щелочи, образуется бут-3-ен-2-он, замещённый по 4 положению ароматическим кольцом (соединение **A**). Под действием водорода на металлическом родии происходит восстановление двойной связи углерод-углерод (соединение **B**), а восстановление боргидридом натрия превращает кето-группу в спиртовую группу (соединение **C**).



Механизм образования соединения **A**:

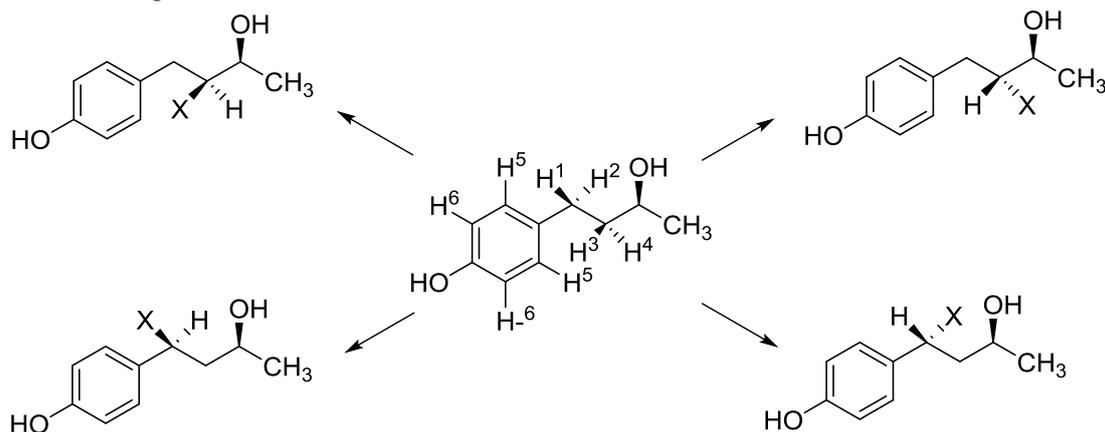


Если в реакции используется недостаток ацетона, то возможно протекание конденсации с двумя молекулами альдегида по обоим метильным группам ацетона, и в качестве продукта будет образовываться производное дибензилиденацетона:



Определим количество неэквивалентных атомов водорода в соединении **C** (рассмотрим в качестве примера одну из двух возможных конфигураций имеющегося в молекуле стереоцентра). Заменяем поочерёдно протоны в каждой из CH_2 -групп на «тестовую» группу **X**, в результате каждой такой замены внутри каждой CH_2 -группы мы получим пары диастереомеров, из чего можно сделать вывод, что протоны внутри каждой из CH_2 -групп (протоны H^1 и H^2 ; протоны H^3 и H^4) являются химически неэквивалентными или диастереотопными (то есть их замена на «тестовую» группу **X** приводит к образованию диастереотопных соединений). Естественно, что пары протонов из разных CH_2 -групп являются неэквивалентными между собой (протоны H^1 , H^2 и протоны H^3 , H^4). Протоны внутри метильной группы эквивалентны между собой в виду свободного вращения связи $\text{C}-\text{C}$, но,

конечно, отличны от протона при хиральном атоме углерода; из соображений симметрии получим, что в ароматическом кольце содержатся два типа протонов (H^5 и H^6). Наконец, в молекуле имеются два неэквивалентных протона О-Н групп. Таким образом, имеем $4+1+1+2+1+1=10$ химически неэквивалентных протонов.



Рекомендации к оцениванию:

- | | |
|--|-----------|
| 1. Структурные формулы соединений А – С, по 1.5 балла | 4.5 балла |
| 2. Механизм образования соединения А | 2 балла |
| 3. Формула продукта, образующегося в реакции с недостатком ацетона | 2 балл |
| 4. Указание числа типов структурно неэквивалентных атомов водорода | 1.5 балла |

ИТОГО: 10 баллов

№ 5

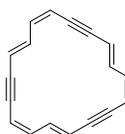
1. Молекулярная формула исходного углеводорода **I** – C_6H_6 , а у соединения **II** – $C_{18}H_{12}$. Очевидно, что **II** образуется при конденсации трёх молекул **I** с потерей 6 атомов водорода. Вероятнее всего, что это – концевые атомы водорода в **I**. Тогда оставшиеся атомы водорода входят в состав групп CH_2 , углерод в этих группах имеет гибридизацию sp^3 . (Альтернативный вариант – отщепление атомов водорода от групп CH_2 – не годится, так как в продукте **II** будут атомы водородов разных типов). Очевидно также, что продукт **II** имеет циклическое строение, так как только в этом случае все атомы водорода могут быть эквивалентными.

2. Формулу соединения **II** можно представить в виде $(CH_2)_6C_{12}$. Очевидно, что 12 атомов углерода должны быть попарно связаны тройными связями, которые остались от исходного 1,5-гексадиена. Тогда формулу **II** можно представить в виде:



II

3. В молекуле вещества **II** имеется 6 тройных связей, следовательно, в молекуле вещества **III** их 3. Так как молекула **III** является изомером **II** и, вероятнее всего, сохраняет циклическую структуру, то наряду с 3 тройными она должна содержать 6 двойных связей. Так как продукт **III** образуется в ходе изомеризации, то он обладает большей термодинамической стабильностью, чем **II**. Это возможно при наличии в нём системы сопряжённых кратных связей. Следовательно, формулу **III** можно представить в виде:



III

4. При мягком гидрировании **III** происходит присоединение 6 атомов водорода по тройным связям, в противном случае (при гидрировании двойных связей) нарушалась бы система сопряжения в **X**, и это вещество не было бы окрашенным. Тогда строение **X**:



X

В результате был получен первый представитель класса аннуленов – [18]аннулен.

5. Низкий выход **II** на первой стадии синтеза связан с низкой вероятностью замыкания больших циклов. Наряду с тримерным продуктом **II** образуются димер и большое количество олигомеров.

Задача составлена на основании статьи: F Sondheimer. *Acc. Chem. Res.*, **1972**, 5, 81–91.

Рекомендации к оцениванию

- | | |
|---|---------|
| 1. Определение гибридизации углерода в II | 1 балла |
| 2. Определение количества двойных связей в III | 1 балла |
| 3. Определение формулы вещества II | 3 балла |
| 4. Определение формул веществ III и X по 2 балла | 4 балла |
| 5. Объяснение низкого выхода II на первой стадии синтеза | 1 балл |

ИТОГО: 10 баллов

№ 6

1. Очевидно, что осадок **B** является сульфатом бария (белый, выпадает в кислой среде). Сульфата бария выпало 3.501 г или 15 ммоль, следовательно в нём содержится $32.07 \cdot 15 = 481$ мг **серы**. На второй элемент в навеске минерала приходится $1.668 - 0.481 = 1.187$ г. Второй элемент легко определить по закону эквивалентов, используя данные для соединения **D**:

$$\frac{\Xi_{\text{X}}}{\Xi_{\text{Cl}}} = \frac{\omega_{\text{X}}}{\omega_{\text{Cl}}}$$

где Ξ – эквивалентные массы, а ω – массовые доли элемента и хлора, соответственно.

Тогда: $\frac{\Xi_{\text{X}}}{35.5} = \frac{45.57}{54.43}$, отсюда $\Xi_{\text{X}} = 29.7$. Перебирая возможные степени окисления (n), найдем для n=4 молярную массу элемента $29.7 \times 4 = 118.8$. Это – **олово**. (При n=3 $M = 89.1$. Это – иттрий, но хлорид иттрия – твёрдое тугоплавкое вещество).

Таким образом, искомый минерал – это сульфид олова. Его состав (Sn_xS_y) определяется с помощью соотношения $x:y = \frac{m_{\text{Sn}}}{A_{\text{Sn}}} : \frac{m_{\text{S}}}{A_{\text{S}}} = \frac{1.187}{118.71} : \frac{0.481}{32.07} = 0.010:0.015 = 2:3$. Следовательно, формула минерала **Sn₂S₃**.

Его название – оттеманит.

2. Состав соединений:

- A** – H_2SnO_3 (метаоловянная кислота). Принимается вариант $\text{SnO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$.
- B** – BaSO_4 .
- C** – Sn.
- D** – SnCl_4 .

3. Соответствующие реакции:

1. $\text{Sn}_2\text{S}_3 + 26\text{HNO}_3 = 2\text{H}_2\text{SnO}_3 + 3\text{H}_2\text{SO}_4 + 26\text{NO}_2 + 8\text{H}_2\text{O}$
2. $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{Ba}(\text{NO}_3)_2 = \text{BaSO}_4 \downarrow + 2\text{HNO}_3$
3. $\text{SnO}_2 + 2\text{C} = \text{Sn} + 2\text{CO}$
4. $\text{Sn} + 2\text{Cl}_2 = \text{SnCl}_4$

4. В оттеманите степени окисления серы –2, олова +2 и +4 (пополам). Для олова не характерны нечётные степени окисления, поэтому ответ +3 не принимается.

Задача составлена на основании статьи: T. Jiang, G. A. Ozin. *J. Mater. Chem.*, **1998**, 8, 1099–1108.

Рекомендации к оцениванию

- | | |
|--|---------|
| 1. Определение наличия серы в оттеманите | 1 балл |
| 2. Определение наличия олова в оттеманите | 1 балл |
| 3. Расчет индексов и определение формулы оттеманита | 2 балла |
| 4. Определение формул веществ A – D по 0.5 балла (для соединения D принимается любое количество воды) | 2 балла |
| 5. Уравнения реакций 1–4 по 0.5 балла | 2 балла |
| 6. Определение степеней окисления элементов в оттеманите | 2 балла |

ИТОГО: 10 баллов

1) Константа равновесия (K) связана со стандартной энергией Гиббса реакции ($\Delta_r G^\circ$) следующим образом:

$$\Delta_r G_T^\circ = -RT \ln K_p$$

В свою очередь, стандартная энергия Гиббса реакции может быть рассчитана из стандартных энергий Гиббса образования продуктов и реагентов с учётом их стехиометрических коэффициентов (ν):

$$\Delta_r G_T^\circ = \sum_{i=1}^{P \text{ (продукты)}} \nu_i \Delta_f G_{T,i}^\circ - \sum_{j=1}^{R \text{ (реагенты)}} \nu_j \Delta_f G_{T,j}^\circ$$

Рассчитаем энергии Гиббса исследуемых реакций:



$$\Delta_r G_{T,1}^\circ = \Delta_f G_T^\circ(\mathbf{B}) - \Delta_f G_T^\circ(\mathbf{A}) = -6.4 \text{ кДж/моль}$$

$$\Delta_r G_{T,2}^\circ = \Delta_f G_T^\circ(\mathbf{C}) - \Delta_f G_T^\circ(\mathbf{A}) = 6.9 \text{ кДж/моль}$$

Рассчитаем константы равновесия, выраженные через давления в барах:

$$K_p = \exp(-\Delta_r G^\circ / RT)$$

$$K_{p(1)} = e^{6400 / (8.314 \cdot 323.15)} = 10.8$$

$$K_{p(2)} = e^{-6900 / (8.314 \cdot 323.15)} = 0.0767$$

Однако, поскольку сумма стехиометрических коэффициентов продуктов и реагентов равна, то константы равновесия, выраженные через давления, совпадают с константами равновесия, выраженными через мольные доли, т.е. $K_{p(i)} = K_{x(i)} \equiv K_{(i)}$.

2) Пусть мольные доли веществ \mathbf{A} , \mathbf{B} и \mathbf{C} равны x , y и z соответственно. Тогда константы равновесия можно записать следующим образом: $K_{(1)} = y/x$, $K_{(2)} = z/x$.

Принимая во внимание, что $x + y + z = 1$, можно записать:

$$K_{(1)} = \frac{y}{x}, \quad K_{(2)} = \frac{1 - x - y}{x}$$

Решая систему из трёх последних уравнений, получим:

$$x = \frac{1}{1 + K_{(1)} + K_{(2)}}, \quad y = \frac{K_{(1)}}{1 + K_{(1)} + K_{(2)}} = xK_{(1)}, \quad z = 1 - x - y = xK_{(2)}$$

Подставив значения констант из п. 1), рассчитаем состав равновесной смеси в процентах:

$$x = \frac{1}{1 + 10.8 + 0.0767} = 8.4 \%, \quad y = xK_{(1)} = 90.9 \%, \quad z = 100 - x - y = 0.7 \%$$

3) Поскольку в реакциях изомеризации из 1 моля \mathbf{A} получается 1 моль \mathbf{B} или \mathbf{C} , то изменение общего давления **никак не скажется** ни на константах равновесия, ни на составе равновесной смеси. Пусть была бы другая стехиометрия, например, $\nu_R \mathbf{A} \rightleftharpoons \nu_P \mathbf{B}$. Тогда константа равновесия, полученная из стандартного изменения энергии Гиббса реакции и записанная через парциальные давления, была бы равна $K_p = p_B^{\nu_P} / p_A^{\nu_R}$. При переходе к мольным долям $K_x = x_B^{\nu_P} / x_A^{\nu_R}$ при общем давлении p_o получилось бы $K_p = p_B^{\nu_P} / p_A^{\nu_R} = (x_B p_o)^{\nu_P} / (x_A p_o)^{\nu_R} = K_x p_o^{(\nu_P - \nu_R)}$. Соответственно, при изменении общего давления в n раз константа равновесия, выраженная через мольные доли, менялась бы в $(\nu_P - \nu_R)n$ раз.

4) Для реакции изомеризации может быть использован катализатор, являющийся кислотой Льюиса, например, AlCl_3 .

Рекомендации к оцениванию:

- | | |
|--|---------|
| 1. Рассчитаны константы равновесия — по 2 балла | 4 балла |
| 2. Определён состав равновесной смеси — по 1 баллу | 3 балла |
| 3. Указано, как изменяются константы и состав смеси — по 1 баллу
без обоснования — 0 баллов | 2 балла |
| 4. Катализатор | 1 балл |

ИТОГО: 10 баллов

11 класс

№ 1

С помощью низкотемпературной перегонки воздуха могут быть выделены составляющие его газообразные компоненты: азот, кислород, углекислый газ, метан и водород, которые уже были известны к концу XIX века. Другими компонентами воздуха являются благородные газы, ранее не описанные. Об этом говорит и обнаружение спектральным методом нового «странныго» элемента. Согласно условию, этот газ реагирует с фтором с образованием трёх фторидов. Как известно, среди благородных газов с фтором реагирует лишь ксенон. Проверим это расчётом.

Пусть фторид **A** – ЭF_x , **B** – ЭF_y , **C** – ЭF_z , тогда массовые доли фтора в них будут относиться, как:

$$\frac{19x}{M(\text{Э}) + 19x} : \frac{19y}{M(\text{Э}) + 19y} : \frac{19z}{M(\text{Э}) + 19z} = 1 : 1.634 : 2.071$$

Рассмотрим отношение массовых долей фторидов **A** и **B**:

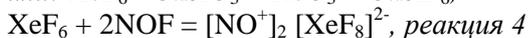
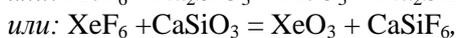
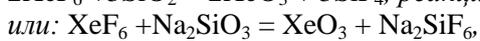
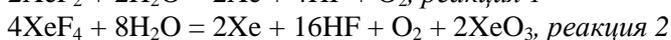
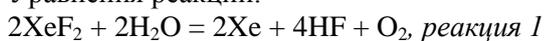
$$\frac{19x}{M(\text{Э}) + 19x} : \frac{19y}{M(\text{Э}) + 19y} = 1 : 1.634$$

Преобразуем эту зависимость к виду:

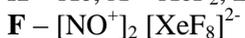
$$M(\text{Э}) = \frac{7.37xy}{0.612y - x}$$

Найдём возможные $M(\text{Э})$ для разных x и y . Учтём, что $y > x$, а также, что x – скорее всего, низший оксид элемента, и ограничимся $x=4$. Из полученных элементов газообразными являются лишь ксенон и неон, однако фторидов неона не существует. Остаётся только ксенон, для которого известны три фторида: **XeF₂** (**A**), **XeF₄** (**B**), **XeF₆** (**C**). Массовые доли фтора в них соответствуют указанным в условии задачи соотношениям массовых долей: 22.30: 36.5: 46.34 = 1: 1.636: 2.078.

Уравнения реакций:



Вещества:



x	y	M	Элемент
1	2	65.8	Zn
1	3	26.4	Al
1	4	20.4	Ne
2	3	-269	-
2	4	132	Xe
2	5	69.5	Ga
2	6	52.9	-
2	7	45	Sc
2	8	40.7	Ca
3	4	-160	-
3	5	1842	-
3	6	197.4	Au
3	7	120.5	-
3	8	93.3	-
4	5	156.8	Gd
4	6	-539.2	-
4	7	726.6	-
4	8	263.2	-

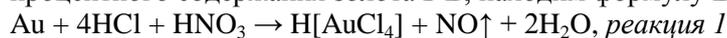
Низкая реакционная способность благородных газов обуславливается заполненным валентным уровнем электронов и высокими энергиями ионизации их атомов. Физические свойства инертных газов, в частности, ксенона, хорошо сходятся со свойствами, предсказанными моделью идеального газа. Это объясняется тем, что благородные газы одноатомны, а атомы их слабополяризуемы. В тоже время размером атома ксенона уже нельзя пренебречь, в отличие от первых представителей ряда инертных газов.

Рекомендации к оцениванию:

- | | |
|--|-----------------|
| 1. Формулы соединений A–F , по 1 баллу (без необходимых расчётов – по 0.5 балла, за D 1 балл). | 6 баллов |
| 2. Формула вещества X | 0.5 балла |
| 3. Уравнения четырёх реакций, по 0.5 балла | 2 балла |
| 4. Объяснение низкой реакционной способности X | 0.5 балла |
| 5. Рассуждения об идеальном газе | 1 балл |
| ИТОГО: | 5 баллов |

№ 2

К благородным металлам относят золото, серебро, рутений, родий, палладий, осмий, иридий и платину. Серебро, рутений и иридий не растворяются в царской водке. При растворении золота, родия, платины, палладия, осмия и платины образуются $\text{H[AuCl}_4]$, $\text{H}_3[\text{RhCl}_6]$, $\text{H}_2[\text{PdCl}_6]$, $\text{H}_2[\text{OsCl}_6]$ и $\text{H}_2[\text{PtCl}_6]$ соответственно. Только в соединении золота соотношение атомов металла и хлора составляет 1:4. Таким образом, **A** – это $\text{H[AuCl}_4]$. При реакции с концентрированным раствором хлорида калия в осадок выпадает кристаллогидрат тетрахлороаурата калия - **B**. Исходя из процентного содержания золота в **B**, находим формулу **B** - $\text{K[AuCl}_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

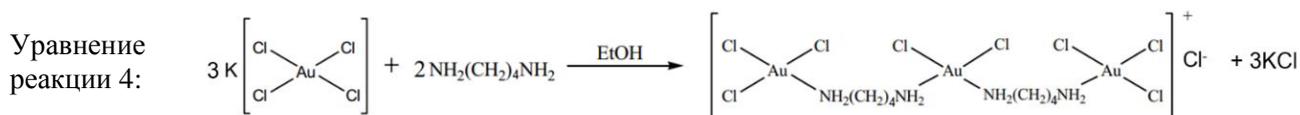
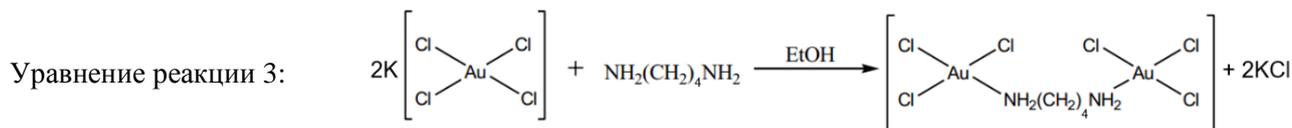
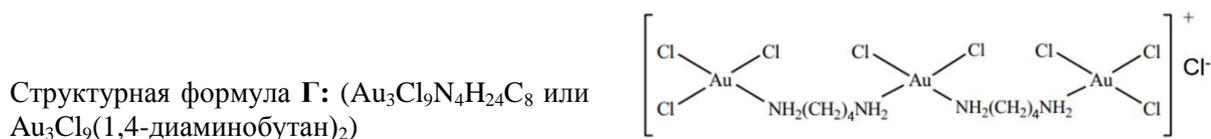
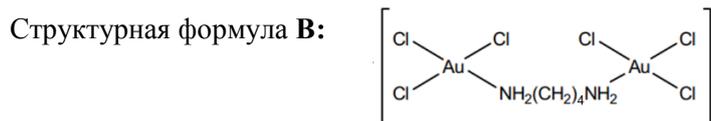


M – Au, **A** - $\text{H[AuCl}_4]$, **B** - $\text{K[AuCl}_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

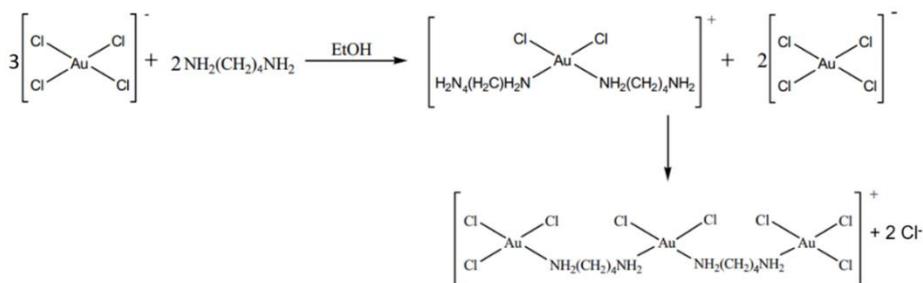
В соединениях **B** и **Г** сумма массовых долей углерода, водорода, азота и золота составляют менее 100 %, следовательно, присутствует ещё какой-то элемент. Т.к. с 1,4-диаминобутаном реагирует $\text{K[AuCl}_4]$, то логично предположить, что хлор также присутствует в соединениях **B** и **Г**. Основываясь на этом предположении, определим брутто-формулы **B** и **Г**.

B – $\text{AuCl}_3\text{NH}_6\text{C}_2$. Однако, так как в реакции с $\text{K[AuCl}_4]$ 1,4-диаминобутан, вероятно, является лигандом, который замещает хлорид ионы, то в соединении должно присутствовать как минимум два атома азота. Поэтому брутто формула соединения **B** – $\text{Au}_2\text{Cl}_6\text{N}_2\text{H}_{12}\text{C}_4$

Данное соединение содержит одну молекулу 1,4-диаминобутана (**B** - $\text{Au}_2\text{Cl}_6(1,4\text{-диаминобутан})$)

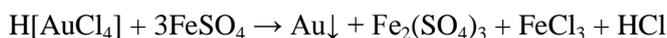


Механизм образования соединения Г:

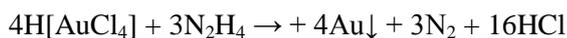


Вещество Г является существенно более полярным соединением, так как состоит из заряженных ионов, в то время как В состоит из нейтральных комплексов. Так как этанол полярный растворитель, то полярные соединения будут в нём лучше растворяться.

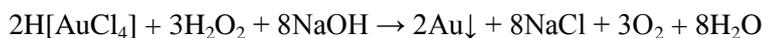
Золото из раствора $\text{H}[\text{AuCl}_4]$ можно получить, подействовав восстановителем, например:



или



или



Рекомендации к оцениванию:

1. Определение металла **М** – 1 балл 6 баллов
 Определение формул **А** и **Б** по 0,5 баллов
 Структурные формулы **В** и **Г** по 1 баллу
 (если указаны только брутто-формулы, то за каждую формулу дается 0,25 балла)
 Уравнения *реакций* 1 – 4 по 0,5 балла
2. Механизм образования **Г** – 2 балла 3 балла
 Объяснение различной растворимости **В** и **Г** – 1 балл
3. Уравнение реакции получения золота из $\text{H}[\text{AuCl}_4]$ – 1 балл 1 балл

ИТОГО: 10 баллов

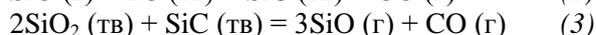
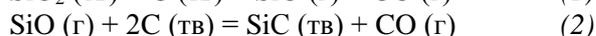
№ 3

1) В производстве чугуна используется углерод, в керамике — кремний. По условию **Е** содержит оба этих элемента, тогда **Е** — SiC . Если предположить, что **Х** — C , тогда **Y** — Si , а **А** — бинарное соединение углерода, которое должно иметь атомную кристаллическую решётку, однако таких веществ нет. Тогда **С** — C , **Y** — C (элемент), **Х** — Si (элемент). **А** — ещё одно вещество, содержащее Si и имеющее атомную кристаллическую решётку; логично предположить, что **А** — SiO_2 . Исходя из реакций (1) и (3), можно сделать вывод, что **В** и **Д** — оксиды, тогда **В** — SiO , а **Д** — CO .

Х	Y	А	В	С	Д	Е
Si	C	SiO_2 (тв)	SiO (г)	C (тв)	CO (г)	SiC (тв)

2) Вещество **Д** имеет молекулярную кристаллическую решетку, **Е** — атомную.

3) Уравнения зашифрованных реакций следующие:



4) На основании соответствующих реакций можно сделать вывод, что реакция (3) может быть получена комбинацией реакций (1) и (2) следующим образом: $(3) = 2 \cdot (1) - (2)$. Таким образом, стандартная энергия Гиббса реакции (3) равна: $\Delta_r G_{(3)}^0 = 2\Delta_r G_{(1)}^0 - \Delta_r G_{(2)}^0$ и равна 233.09 кДж/моль CO .

В свою очередь, константа реакции связаны со стандартной энергией Гиббса так: $K = \exp(-\Delta_r G^0 / RT)$

$$\text{Тогда } K_{(3)} = \exp(-\Delta_r G_{(3)}^0 / RT) = \exp(-233090 / (8.314 \cdot (1500 + 273.15))) = 1.36 \cdot 10^{-7}.$$

5) Запишем выражение констант реакции (1) и (2): $K_{(1)} = p_{SiO} p_{CO}$, $K_{(2)} = p_{CO} / p_{SiO}$.

Решая совместно эти два уравнения, получим: $p_{CO} = \sqrt{K_{(1)} K_{(2)}}$. Рассчитаем значение констант равновесия реакции (1) и (2) при 1500 °С, получим: $K_{(1)} = 4.40 \cdot 10^{-3}$, $K_{(2)} = 142$. Тогда $p_{CO} = 0.790$ бар.

Задача составлена на основании следующих статей: *Journal of the American Ceramic Society* **2005**, 72, 122–129; *Metallurgical and Materials Transactions B*, **2021**, 52, 1755–1771.

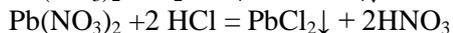
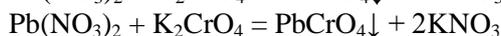
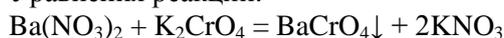
Рекомендации к оцениванию:

- | | |
|---|------------|
| 1. Определены X и Y — по 0.25 баллов | 0.5 балла |
| 2. Определены A–E — по 0.25 баллов | 1.25 балла |
| 3. Указаны типы решётки — по 0.375 баллов | 0.75 балла |
| 4. Записаны уравнения реакций — по 0.5 балла | 1.5 балла |
| 5. Рассчитана константа реакции (3) — 3 балла | 3 балла |
| 6. Рассчитано равновесное давление D — 3 балла | 3 балла |

ИТОГО: 10 баллов

№ 4

Уравнения реакций:



Электролиз PbCl_2 дает на катоде свинец, на аноде хлор.

$M(\text{PbCrO}_4) = 207 + 52 + 64 = 323$ г/моль, $M(\text{BaCrO}_4) = 253$ г/моль;

$M(\text{Ba}(\text{NO}_3)_2) = 261$ г/моль, $M(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2) = 331$ г/моль, $M(\text{Ca}(\text{NO}_3)_2) = 164$ г/моль;

Из навески смеси 0.737 г выделилось 0.133 г свинца = $n(\text{Pb}) = 0.133 : 207 = 0.000643$ моль;

Свинца по массе $(0.133 : 0.727) \cdot 100 = 18.3\%$. $n(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2) = 0.000643 \cdot 331 \rightarrow m(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2) = 0.213$ г.

В навеске смеси нитратов 1.204 г содержится $(0.213 : 0.737) \cdot 1.204 = 0.348$ г нитрата свинца, который должен дать $m(\text{PbCrO}_4) = (0.348 : 331) \cdot 323 = 0.334$ г. Тогда масса осажденного хромата бария составляет $0.688 - 0.340 = 0.348$ г BaCrO_4 , на осаждение которого потребовалось $(0.348 : 253) \cdot 261 = 0.359$ г нитрата бария. Тогда нитрата кальция в исходной смеси $1.204 - 0.359 - 0.348 = 0.497$ г. В 0.407 г $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ содержится $a = (0.497 : 164) \cdot 40 = 0.121$ г Ca, и содержание Ca в смеси нитратов составляет $(0.121 : 1.204) \cdot 100 = 10.0\%$.

Нитрата бария в исходной смеси 0.359 г. В 0.388 г $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ содержится $v = (0.359 : 261) \cdot 137 = 0.188$ г.

Содержание Ba в смеси нитратов составляет $(0.188 : 1.204) \cdot 100 = 15.6\%$

Содержание металлов в смеси нитратов: $w(\text{Pb}) = 18.3\%$; $w(\text{Ba}) = 15.6\%$; $w(\text{Ca}) = 10.0\%$

Состав смеси нитратов: $w(\text{Ba}(\text{NO}_3)_2) = (0.359 : 1.204) \cdot 100 = 29.8\%$, $w(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2) = (0.348 : 1.204) \cdot 100 = 28.9\%$, $w(\text{Ca}(\text{NO}_3)_2) = (0.496 : 1.204) \cdot 100 = 41.3\%$.

Рекомендации к оцениванию:

- | | |
|--|---------|
| 1. Уравнения реакций по 1 баллу | 3 балла |
| 2. Электролиз и расчет | 1 балл |
| 3. Определение массового содержания металлов в смеси | 3 балла |
| 4. Состав смеси по солям | 3 балла |

ИТОГО: 10 баллов

№ 5

По уравнению Менделеева-Клапейрона вычислим молярную массу газа:

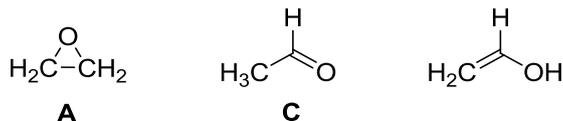
$$pV = nRT, pV = mRT/M, p = mRT/MV, p = \rho RT/M$$

$$M = \rho RT/p = 1.8 \cdot 8.31 \cdot 298 / 101.325 = 44 \text{ г/моль.}$$

Молярная масса четная, следовательно, в **A** либо нет азота, либо имеется два атома азота.

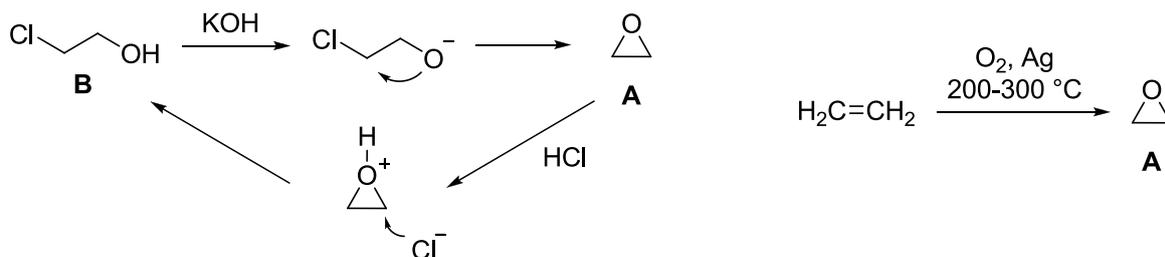
Такой молярной массе могут соответствовать формулы: CO_2 , N_2O , C_3H_8 , CH_4N_2 , $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$. Очевидно, что, судя по химическим свойствам, первые три варианта не подходят. Соединения $\text{CH}_3\text{-N=NH}$,

$\text{CH}_2=\text{N}-\text{NH}_2$, $\text{NH}_2-\text{CH}=\text{NH}$ и $\begin{matrix} \text{HN} \\ | \\ \text{HN}-\text{CH}_2 \end{matrix}$, соответствующие формуле CH_4N_2 , не будут газообразными из-за образования водородных связей. Тогда единственным вариантом брутто-формулы **A** является $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$, которой соответствуют три структурных формулы:

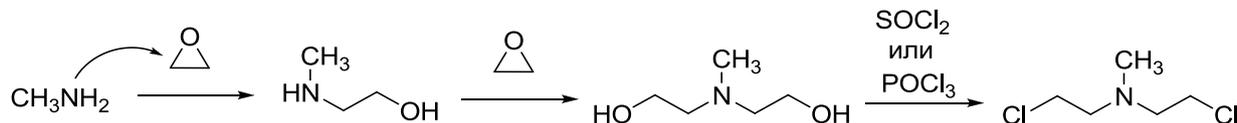


Как следует из условия, соединение **A** является очень реакционноспособным и при нагревании изомеризуется в соединение **C** (очевидно, более устойчивое). Наиболее подходящим на роль **A** является напряженный трехчленный цикл – окиран (этиленоксид, окись этилена). Он изомеризуется в ацетальдегид (соединение **C**), являющийся более устойчивым таутомером, чем виниловый спирт.

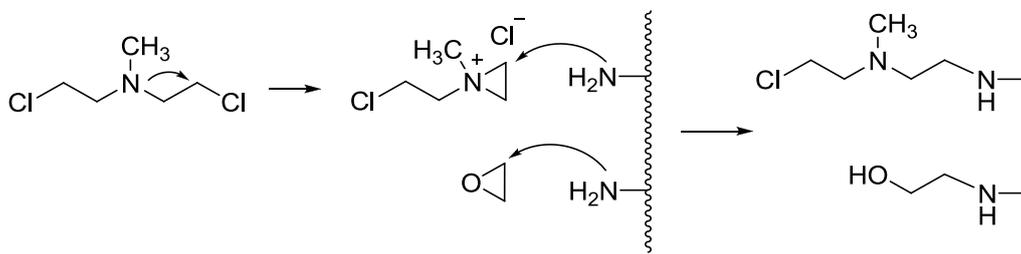
Первоначально этиленоксид был получен в 1859 году Шарлем Адольфом Вюрцем действием гидроксида калия на 2-хлорэтанол. Современный способ получения заключается в окислении этилена на серебряном катализаторе.



Получить вещество **D** (азотистый иприт, эмбихин, хлорметин) можно по следующей схеме:



Токсичность (цитотоксичность) этиленоксида и хлорметина связана с тем, что они являются сильными алкилирующими агентами и могут легко взаимодействовать с амино-группами, присутствующими в ДНК. За счет наличия двух реакционных фрагментов хлорметин может «сшивать» нити ДНК между собой, тем самым делая невозможной репликацию.



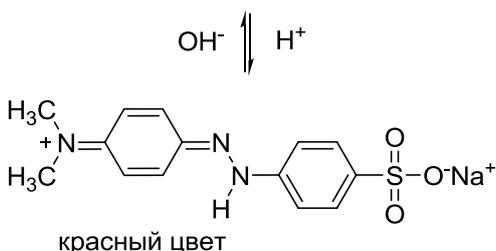
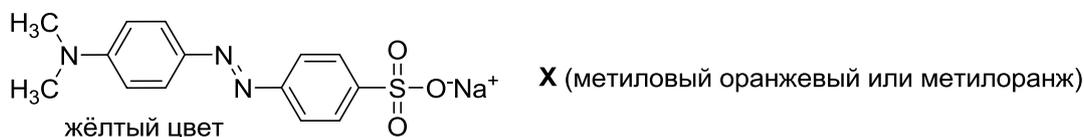
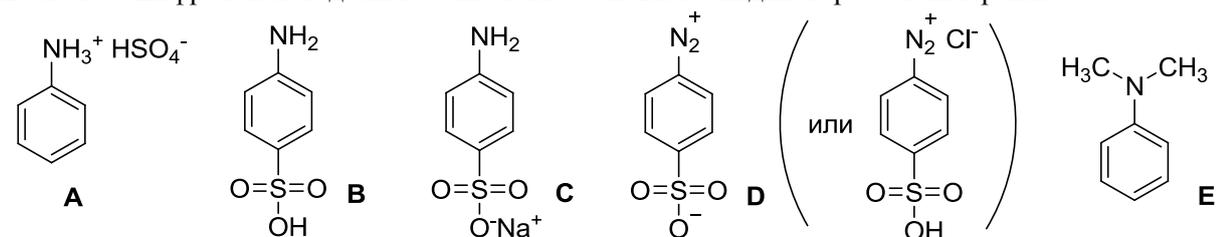
Рекомендации к оцениванию:

- | | |
|--|---------|
| 1. Молярная масса A | 1 балл |
| 2. Брутто-формула A | 1 балл |
| 3. Структурные формулы A – C – по 1 баллу | 3 балла |
| 4. Метод синтеза D | 3 балла |
| 5. Современный способ получения A | 1 балл |
| 6. Объяснение токсического действия | 1 балл |

ИТОГО: 5 баллов

№ 6

В схеме зашифрован метод синтеза кислотно-основного индикатора – метилоранжа.



Другие кислотно-основные индикаторы: фенолфталин, лакмус, метиловый красный и т.д.

Рекомендации к оцениванию:

- | | |
|--|---------|
| 1. Структурные формулы A–C, E – по 1 баллу
(если A – сульфат, а не гидросульфат, то за A – 0 баллов) | 4 балла |
| 2. Структурные формулы D и X – по 1.5 балла | 3 балла |
| 3. Структура X в сильноокислой среде | 1 балл |
| 4. Название X – 0.5 балла, применение – 0.5 балла | 1 балл |
| 5. Два примера кислотно-основных индикаторов – по 0.5 балла | 1 балл |

ИТОГО: 10 баллов

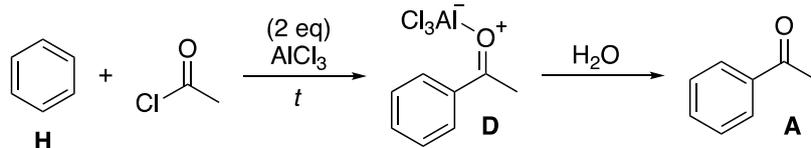
№ 7

1) Исходя из метода синтеза **A** и его свойств, можно предположить, что это кетон с метильным и некоторым арильным заместителем. В таком случае галогенирование в уксусе приводит к продукту с одним галогеном, а галогенирование в диоксане ведет к продукту с двумя атомами галогена в метильной группе. Проверим это. Определим зашифрованный галоген исходя из его массовой доли в соединениях **B** и **C**.

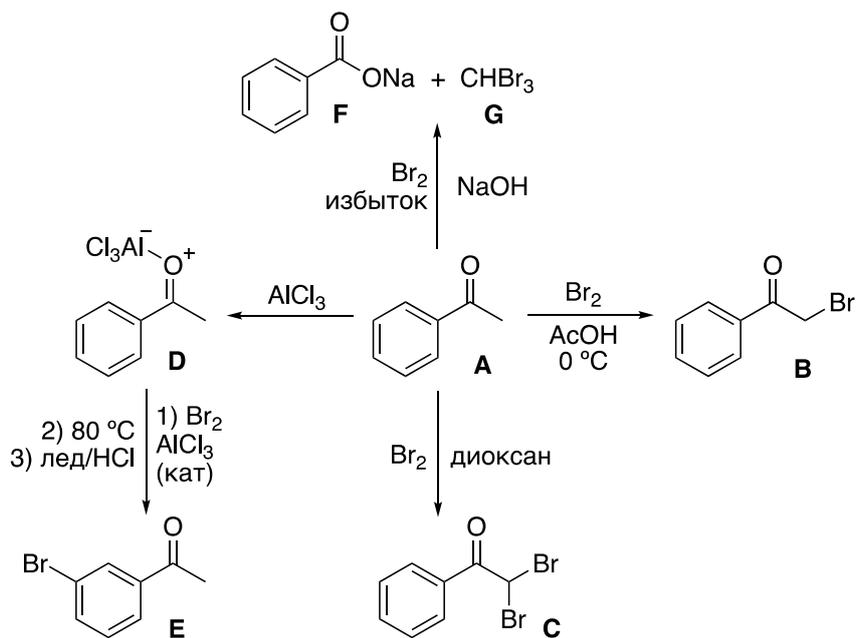
Hal	F	Cl	Br	I	At
Mr(B)	47.26	88.31	199.00	315.92	522.39
Mr(B)–Mr(Hal)	28.26	52.81	119.00	188.92	312.39
Mr(C)	33.01	61.69	139.01	220.68	364.90
Mr(C)–Mr(Hal)	14.01	26.19	59.01	93.68	154.90

В случае атома брома молярные массы **B** и **C** представляют собой подходящие целые числа. К тому же, остаток $\text{Mr}(\mathbf{B}) - \text{Mr}(\mathbf{Hal}) = 119$, тогда как $\text{Mr}(\mathbf{C}) - \text{Mr}(\mathbf{Hal}) = 59$, что соответствует предположению про два атома галогена (если в **C** два брома, тогда остаток $59 \cdot 2 = 118 = \text{Mr}(\mathbf{B}) - \text{Mr}(\mathbf{Hal}) - 1$). Тогда, можно предположить, что молярная масса **A** равна $\text{Mr}(\mathbf{B}) - \text{Mr}(\mathbf{Hal}) + \text{Mr}(\text{H}) = 120$. Отсюда рассчитаем количество атомов водорода в **A** исходя из массовой доли:

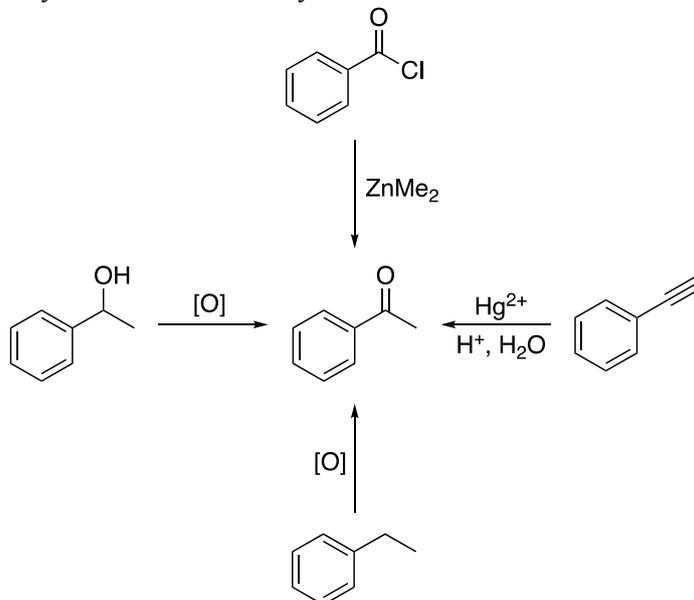
$N(H) = M_r(A) \cdot \omega(H) / M_r(H) = 120 \cdot 0.0667 / 1 = 8$. **A** содержит 8 атомов водорода, три из которых – это метильная группа (то есть остаются 5 атомов водорода). Помимо этого, **A** содержит карбонильную группу, тогда рассчитаем остаток за исключением метила и карбонила: $120 - 15 - 28 = 77$. Это соответствует фенильному заместителю (C_6H_5), значит **H** – это бензол (это дополнительно подтверждается массовой долей водорода в **H**). Напишем реакции получения **A**:



D – это комплекс кетона с хлоридом алюминия, который при гидролизе водой приводит к метилфенилкетону **A** (ацетофенон). Узнаем оставшиеся соединения исходя из химических превращений:

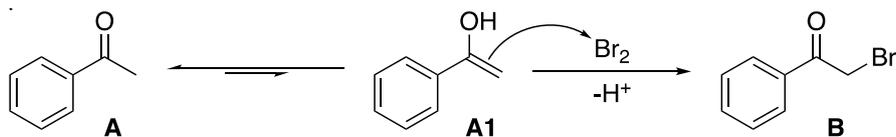


2) Ацетофенон можно получить одним из следующих способов:

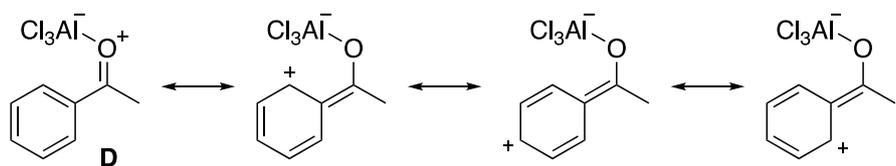


3) Для ответа на данный вопрос полезно рассмотреть механизм галогенирования ацетофенона по метильной группе (**A**). Между кето-формой (**A**) и енольной формой (**A1**) ацетофенона существует равновесие, сдвинутое в сторону кетона **A**. Уксусная кислота как протонный растворитель

дополнительно способствует енолизации, и именно енольная форма **A1** вступает в реакцию галогенирования. Обратная ситуация имеет место в случае проведения реакции без растворителя, где весь ацетофенон нацело связан в комплекс с хлоридом алюминия, необходимый для енолизации переносчик протонов отсутствует, в результате енолизация не происходит и бромирование по метильной группе невозможно.



Рассмотрение резонансных структур комплекса **D** позволяет увидеть наличие положительного заряда в *орто*- и *пара*-положениях фенильного кольца. Это деактивирует данные положения и направляет реакцию бромирования **D** в *мета*-положение.



Рекомендации к оцениванию:

- | | |
|---|----------|
| 1. Формулы A – H – по 1 баллу | 8 баллов |
| 0.25 балла, если F – бензойная кислота | |
| 2. Методы синтеза по 0.5 балла | 1 балл |
| 3. Причина невозможности бромирования 0.5 балла | 1 балл |
| Объяснение селективности реакции в <i>мета</i> -положение 0.5 балла | |

ИТОГО: 10 баллов

2.4. Заключительный (городской) этап. Практический тур

8 класс

	BaCl ₂	Al(NO ₃) ₃	CaCl ₂	NH ₄ Cl	Pb(NO ₃) ₂	NaCl
H ₂ SO ₄	↓	—	—	—	↓	—
NaOH	—*	↓*	Образование мути	↑ нагрев	↓*	—
NH ₄ OH	—	↓	—	—	↓	—

↓* растворяется при добавлении избытка реактива

↑ нагрев фенолфталеиновая бумага окрашивается в малиновый цвет при поднесении к горлышку нагретой пробирки

—* возможно образование лёгкой мути карбоната бария

Уравнения реакций:

- $BaCl_2 + H_2SO_4 = BaSO_4 \downarrow + 2HNO_3$
- $H_2SO_4 + Pb(NO_3)_2 = PbSO_4 \downarrow + 2HNO_3$
- $Al(NO_3)_3 + 3NaOH = Al(OH)_3 \downarrow + 3NaNO_3$
- $Al(OH)_3 + NaOH = Na[Al(OH)_4]$
- $CaCl_2 + H_2SO_4 = CaSO_4 \downarrow + 2HCl$
- $NH_4Cl + NaOH = NaCl + NH_3 \uparrow + H_2O$ (нагрев)
- $Pb(NO_3)_2 + 2NaOH = Pb(OH)_2 \downarrow + 2NaNO_3$
- $Al(NO_3)_3 + 3NH_4OH = Al(OH)_3 \downarrow + 3NH_4NO_3$
- $Pb(NO_3)_2 + 2NH_4OH = Pb(OH)_2 \downarrow + 2NH_4NO_3$

Рекомендации к оцениванию:

- Заполнение клеток таблицы по 0.5 балла 9 баллов
- Уравнения химических реакций по 0.5 балла (за отсутствие коэффициентов снимать по 0,25 балла за реакцию) 6 баллов
- Правильное определение содержимого склянок по 1 баллу 3 балла
- Правильное определение содержимого пробирок по 2 балла 12 баллов

ИТОГО: 30 баллов

9 класс

	BaCl ₂	Al(NO ₃) ₃	ZnCl ₂	NH ₄ Cl	Pb(NO ₃) ₂	NaCl
H ₂ SO ₄	↓	—	—	—	↓	—
NaOH	—*	↓*	↓*	↑ нагрев	↓*	—
NH ₄ OH	—	↓	↓*	—	↓	—

↓* растворяется при добавлении избытка реактива

↑ нагрев фенолфталеиновая бумага окрашивается в малиновый цвет при поднесении к горлышку нагретой пробирки

—* возможно образование лёгкой мути карбоната бария

- $Ba(NO_3)_2 + H_2SO_4 = BaSO_4 \downarrow + 2HNO_3$
- $H_2SO_4 + Pb(NO_3)_2 = PbSO_4 \downarrow + 2HNO_3$
- $Al(NO_3)_3 + 3NaOH = Al(OH)_3 \downarrow + 3NaNO_3$
- $Al(OH)_3 + NaOH = Na[Al(OH)_4]$

5. $\text{Zn}(\text{Cl})_2 + 2\text{NaOH} = \text{Zn}(\text{OH})_2\downarrow + \text{NaCl}$
6. $\text{Zn}(\text{OH})_2 + 2\text{NaOH} = \text{Na}_2[\text{Zn}(\text{OH})_4]$
7. $\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{NaOH} = \text{NaNO}_3 + \text{NH}_3\uparrow + \text{H}_2\text{O}$ (нагрев)
8. $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{NaOH} = \text{Pb}(\text{OH})_2\downarrow + 2\text{NaNO}_3$
9. $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 + 3\text{NH}_4\text{OH} = \text{Al}(\text{OH})_3\downarrow + 3\text{NH}_4\text{NO}_3$
10. $\text{Zn}(\text{Cl})_2 + 2\text{NH}_4\text{OH} = \text{Zn}(\text{OH})_2\downarrow + \text{NH}_4\text{Cl}$
11. $\text{Zn}(\text{OH})_2 + 4\text{NH}_4\text{OH} = [\text{Zn}(\text{NH}_3)_4](\text{OH})_2 + 4\text{H}_2\text{O}$
12. $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{NH}_4\text{OH} = \text{Pb}(\text{OH})_2\downarrow + 2\text{NH}_4\text{NO}_3$

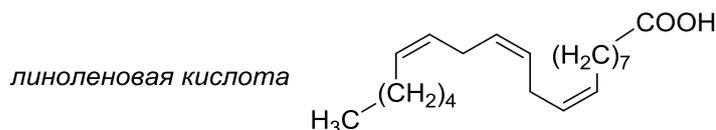
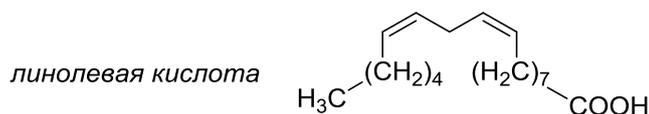
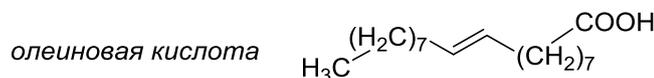
Нитрат аммония находится по окрашиванию бумажки при кипячении раствора со щёлочью. нитрат натрия определяется методом исключения, после определения других пяти солей.

Рекомендации к оцениванию:

- | | |
|---|-----------|
| 1. Заполнение клеток таблицы по 0.5 балла | 9 баллов |
| 2. Уравнения химических реакций по 0.5 балла (за отсутствие коэффициентов снимать по 0,25 балла за реакцию) | 6 балла |
| 3. Правильное определение содержимого склянок по 1 баллу | 3 балла |
| 4. Правильное определение содержимого пробирок по 2 балла | 12 баллов |
| ИТОГО: 30 баллов | |

10 класс

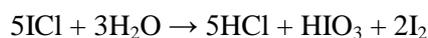
1. Из ненасыщенных кислот в состав растительных масел обычно входят олеиновая, линолевая и линоленовая кислоты. Их структурные формулы приведены ниже:



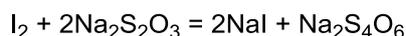
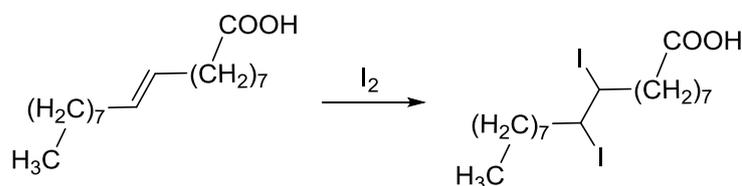
2. Оптимальным критерием ненасыщенности масла является иодное число. Число омыления характеризует количество кислотных остатков, окислительное число показывает количество образовавшихся при хранении пероксидных групп.

3. Спиртовые растворы используются с целью гомогенизации системы (растительное масло нерастворимо в воде).

4. Для определения иодного числа используют также монохлорид и монобромид иода. Они быстрее вступают в реакцию с ненасыщенными спиртами, но гидролизуются водой – при этом высвобождается дополнительное количество иода, что необходимо учитывать:



В основе определения иодного числа лежат следующие реакции:



Рекомендации к оцениванию:

- | | |
|---|-----------|
| 1. Названия кислот и жиров, по 0.5 балла | 3 балла |
| 2. Выбор иодного числа – 1 балл. Обоснование – 2 балла | 3 балла |
| 3. Реакции (присоединение иода, щелочной гидролиз, окисление, титрование иода тиосульфатом) | 4 балла |
| 4. Аргументация использования спиртового раствора | 1 балл |
| 5. Указание реагента (Br ₂ , ICl), объяснение преимуществ и недостатков по 1 баллу | 4 балла |
| 6. Правильное отнесение масла | 1 балл |
| 7. Правильный расчет иодного числа (правильный относительно результатов титрования) | 4 балла |
| 8. Точность титрования: погрешность до 3% - 10 баллов, до 5% - 7 баллов, до 5-7% - 5 баллов, до 7-10% - 3 балла, больше 10% - 1 балл. Бой посуды, долив реактива – штраф -2 балла | 10 баллов |

ИТОГО: 30 баллов

11 класс

Рассчитаем теоретические значения pH выданных растворов:

$$0.001 \text{ M HNO}_3: \text{pH} = -\lg[\text{H}^+] = -\lg 10^{-3} = 3$$

$$0.001 \text{ M NaCl}: \text{pH} = -\lg[\text{H}^+] = -\lg 10^{-7} = 7$$

$$0.001 \text{ M NaOH}: \text{pOH} = -\lg[\text{OH}^-] = -\lg 10^{-3} = 3, \text{ pH} = 14 - \text{pOH} = 11$$

Растворы, содержащие одновременно слабую кислоту и ее соль, слабое основание и его соль или две соли слабой кислоты в разных степенях депротонирования обладают особыми свойствами – их pH практически не меняется при добавлении малых количеств кислоты или основания. Для расчета pH таких растворов можно применять уравнение Гендерсона – Хассельбаха:

$$\text{pH} = \text{pK}_a + \lg\left(\frac{C_{\text{соли}}}{C_{\text{кислоты}}}\right)$$

Тогда для выданных растворов получаем:

$$1. 0.1 \text{ M H}_3\text{PO}_4 + 0.1 \text{ M NaH}_2\text{PO}_4: \text{pH} = \text{pK}_{a1} + \lg 1 = \mathbf{2.12}$$

$$2. 0.1 \text{ M NaH}_2\text{PO}_4 + 0.1 \text{ M Na}_2\text{HPO}_4: \text{pH} = \text{pK}_{a2} + \lg 1 = \mathbf{7.20}$$

$$3. 0.1 \text{ M Na}_2\text{HPO}_4 + 0.1 \text{ M Na}_3\text{PO}_4: \text{pH} = \text{pK}_{a3} + \lg 1 = \mathbf{11.90}$$

Таким образом, имеются два кислых раствора, два щелочных и два практически нейтральных. Универсальная бумага позволит отнести растворы к конкретной группе, но может не позволить провести дальнейшую точную идентификацию (для 0,001 M растворов цветовые переходы выражены слабо). Для окончательной идентификации растворов следует проверить их буферные свойства. Например, к одному из двух нейтральных растворов в пробирке на 2 мл добавим несколько капель одного из кислых растворов. Если pH практически не изменился, в пробирке был буферный раствор (0.1 M NaH₂PO₄ + 0.1 M Na₂HPO₄), если стал кислым – в пробирке был раствор хлорида натрия. Аналогично поступим и с остальными парами.

Рекомендации к оцениванию:

- | | |
|--|-----------|
| 1. Расчет pH растворов индивидуальных веществ – по 0,5 балла | 1.5 балла |
| 2. Расчет pH буферных растворов – по 1,5 балла | 4.5 балла |
| 3. Предложена разумная методика определения | 3 балла |
| 4. Приведены расчеты, подтверждающие методику | 3 балла |
| 5. Практическое определение – по 3 балла за вещество | 18 баллов |

ИТОГО: 30 баллов

3. СВЕДЕНИЯ О СОСТАВИТЕЛЯХ ЗАДАНИЙ

1. **Аверин Дамир Александрович** – студент ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России, призёр заключительного этапа ВсОШ по химии 2022 г.
2. **Булдаков Александр Владимирович** – преподаватель школы «Траектория жизни», участвует в организации и проведении Санкт-Петербургской олимпиады школьников с 2017 года; в настоящее время – член жюри.
3. **Ванин Александр Александрович** – кандидат химических наук, доцент СПбГУ; участвует в организации и проведении Санкт-Петербургской олимпиады школьников по химии с 2012 года; в настоящее время – член жюри.
4. **Гусев Илья Михайлович** – кандидат химических наук; инженер ЦСОП и НИ по направлению химия; участвует в организации и проведении Санкт-Петербургской олимпиады школьников по химии с 2007 года; в настоящее время – член жюри.
5. **Давыдов Никита Анатольевич** – студент СПбГУ; призер заключительного этапа ВсОШ по химии 2019 г.; победитель Санкт-Петербургской олимпиады школьников по химии 2020 г.; участвует в организации и проведении Санкт-Петербургской олимпиады школьников по химии с 2021 года.
6. **Калиничев Андрей Владимирович** – кандидат химических наук; ведущий инженер ООО «Аналитприбор»; участвует в организации и проведении Санкт-Петербургской олимпиады школьников по химии с 2018 года; в настоящее время – член предметно-методической комиссии.
7. **Коронатов Александр Николаевич** – аспирант Израильского технологического института Техниона (г. Хайфа); участвует в организации и проведении Санкт-Петербургской олимпиады школьников по химии с 2015 года.
8. **Кутузов Ярослав Александрович** – студент СПбГУ; победитель Санкт-Петербургской олимпиады школьников по химии 2019 года; участвует в организации и проведении Санкт-Петербургской олимпиады школьников с 2021 года.
9. **Мерещенко Андрей Сергеевич** – доктор химических наук, доцент СПбГУ; участвует в организации и проведении Санкт-Петербургской олимпиады школьников по химии с 2009 года; в настоящее время – заместитель председателя жюри Олимпиады, куратор проведения Олимпиады среди учащихся 9-х классов.
10. **Миссюль Борис Викторович** – педагог дополнительного образования ГБОУ ПФМЛ № 239; участвует в организации и проведении Санкт-Петербургской олимпиады школьников по химии с 1997 года.
11. **Михайлов Илья Евгеньевич** – студент СПбГУ; участвует в организации и проведении Санкт-Петербургской олимпиады школьников с 2023 года.
12. **Носов Виктор Геннадиевич** – студент СПбГУ; медалист 52-ой Международной олимпиады школьников по химии 2020 г.; победитель Санкт-Петербургской олимпиады школьников по химии 2019-20 гг.; участвует в организации и проведении Санкт-Петербургской олимпиады школьников по химии с 2021 года.
13. **Пошехонов Игорь Сергеевич** – заместитель директора, учитель химии ГБОУ Лицей № 554 Приморского района Санкт-Петербурга; участвует в организации и проведении Санкт-Петербургской олимпиады школьников по химии с 2012 года, в настоящее время – председатель предметно-методической комиссии.
14. **Ростовский Николай Витальевич** – доктор химических наук, доцент СПбГУ, и.о. заведующего кафедрой органической химии СПбГУ; в настоящее время – заместитель председателя предметно-методической комиссии; участвует в организации и проведении Санкт-Петербургской олимпиады школьников по химии с 2010 года.
15. **Севастьянова Татьяна Николаевна** – кандидат химических наук; участвует в организации и проведении Санкт-Петербургской олимпиады школьников по химии с 1970 года; в настоящее время – член предметно-методической комиссии.
16. **Скрипкин Михаил Юрьевич** – кандидат химических наук, доцент СПбГУ; участвует в организации и проведении Санкт-Петербургской олимпиады школьников по химии с 1991 года; член предметно-методической комиссии и жюри Всероссийской олимпиады школьников по химии в 1995 – 1998, 2023 гг.; в настоящее время – председатель жюри, куратор проведения Олимпиады среди учащихся 10-х классов.
17. **Спасюк Павел Валерьевич** – студент Горного университета; призер Санкт-Петербургской олимпиады школьников по химии 2022 г.
18. **Филиппов Илья Павлович** – аспирант СПбГУ; участвует в организации и проведении олимпиады с 2018 года; в настоящее время – секретарь оргкомитета, член предметно-методической комиссии, куратор проведения Олимпиады среди учащихся 11-х классов.