

ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО ХИМИИ
МУНИЦИПАЛЬНАЯ ПРЕДМЕТНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КОМИССИЯ

**КРИТЕРИИ И МЕТОДИКА ОЦЕНИВАНИЯ
ВЫПОЛНЕННЫХ ОЛИМПИАДНЫХ ЗАДАНИЙ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО ТУРА
возрастной группы (11 класс)
муниципального этапа всероссийской олимпиады школьников по химии
2021-2022 учебный год**

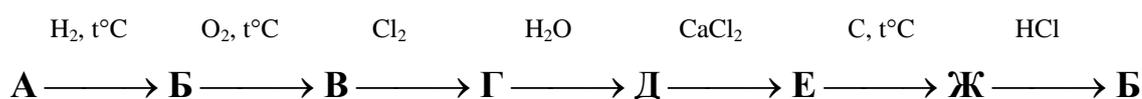
ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО ХИМИИ
МУНИЦИПАЛЬНАЯ ПРЕДМЕТНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КОМИССИЯ

По теоретическому туру максимальная оценка результатов участника возрастной группы (11 классы) определяется арифметической суммой всех баллов, полученных за выполнение заданий и не должна превышать 50 баллов.

ЗАДАЧА 1.

Колыбелью алхимии принято считать Александрийскую академию, основанную Александром Македонским в 332 г до н.э. в новой столице Египта – Александрии. В алхимии различают три основные субстанции - принципа, которые присутствуют во всех вещах: Дух, Душа и Соль. Если сравнить алхимическую теорию с теорией четырех элементов то можно увидеть, что Духу соответствует огонь, Душе - вода и воздух, а Соли - земля. Дух (огонь) в алхимии является центральным элементом, он динамический, непостоянный, кислотный, мужской. Дух символизирует желание для позитивного изменения и жизненного тепла.

В приведенной ниже цепи химических превращений все вещества содержат элемент **А** – алхимический Дух. Массовая доля водорода в соединении **Б** составляет 5,88 %, а массовая доля хлора в соединении **Г** равна 52,59 %.



Определите элемент **А** и вещества **Б**, **В**, **Г**, **Д**, **Е**, **Ж**, участвующие в цепи химических превращений. Составьте уравнения химических реакций.

Максимальный балл – 10

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ 1.

1. Вещество **А** является простым веществом элемента **А**, а вещество **Б** – бинарным соединением водорода и элемента **А** состава AH_x .

$$\text{Если } x=1, \text{ то } \frac{m(\text{AH})}{M(\text{AH})} = \frac{m(\text{H})}{M(\text{H})} \text{ и } M(\text{AH}) = \frac{m(\text{AH}) \cdot M(\text{H})}{m(\text{H})} = \frac{100 \cdot 1}{5,88} = 17 \text{ г/моль,}$$

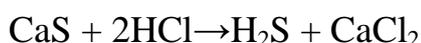
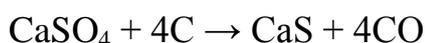
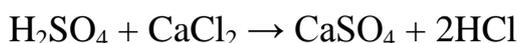
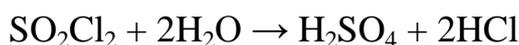
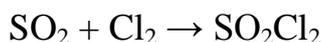
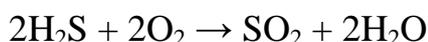
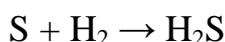
ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО ХИМИИ
МУНИЦИПАЛЬНАЯ ПРЕДМЕТНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КОМИССИЯ

$M(A) = M(AH) - M(H) = 17 - 1 = 16$ г/моль. Элемента с молярной массой 16 г/моль, образующего водородное соединение состава AH нет.

$$\text{Если } x=2, \text{ то } \frac{0,5m(AH_2)}{M(AH_2)} = \frac{m(H)}{M(H)} \text{ и } M(AH_2) = \frac{0,5m(AH_2) \cdot M(H)}{M(AH_2)} = \frac{50 \cdot 1}{5,88} = 34 \text{ г/моль,}$$

$M(A) = M(AH_2) - 2M(H) = 34 - 2 = 32$ г/моль. Следовательно, элемент **A** - это **се-
ра**, образующая водородное соединение состава H_2S .

2. Уравнения реакций химических превращений соединений серы:



Следовательно, состав соединений:

A – S

Б – H₂S

В – SO₂

Г – SO₂Cl₂

Д – H₂SO₄

Е – CaSO₄

Ж – CaS

3. Состав соединения **Г** подтверждается расчетом массовой доли хлора:

$$\omega(Cl) = \frac{2M(Cl)}{M(SO_2Cl_2)} = \frac{71}{135} \cdot 100\% = 52,59\% .$$

СИСТЕМА ОЦЕНИВАНИЯ:

| | | |
|----|--|------------------|
| 1. | Определение элемента A с расчетом | 1 балл |
| 2. | Уравнения реакций по 0,5 балла за каждое | 3,5 балла |

ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО ХИМИИ
МУНИЦИПАЛЬНАЯ ПРЕДМЕТНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КОМИССИЯ

| | | |
|----|---|------------------|
| 3. | Определение состава веществ Б, В, Г, Д, Е, Ж по 0,75 балла за каждое | 4,5 балла |
| 4. | Подтверждение состава вещества Г расчетом | 1 балл |

Максимальная оценка за правильно выполненное задание – 10 баллов.

ЗАДАЧА 2.

К 25 г раствора сульфата некоторого металла с массовой долей соли 4% прибавляют раствор карбоната натрия до прекращения выделения осадка. Затем осадок выделили, высушили и прокалили без доступа воздуха при температуре 3000 °С. Масса твердого остатка составила 0,5 г. Ко второй порции 25 г такого же исходного раствора прибавили избыток водного раствора иодида калия. Полученный при этом осадок отделили, промыли большим количеством спирта, высушили и растворили в насыщенном растворе иодида калия. Для растворения потребовалось 1,75 г насыщенного раствора иодида калия (растворимость KI составляет 148,6 г соли на 100 г воды).

1. Определите неизвестный металл.
2. Напишите уравнения описанных в задаче реакций.
3. Какое соединение металла образовалось в растворе после взаимодействия с насыщенным раствором иодида калия? Дайте образовавшемуся веществу название по номенклатуре ИЮПАК.

Максимальный балл – 10

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ 2.

1. Масса сульфата металла в растворе составляет:

$$m = \omega \cdot m_{\text{р-ра}} = 0,04 \cdot 25 = 1 \text{ г.}$$

В осадок при добавлении карбоната натрия может выпасть средний или основной карбонат металла, а при прокаливании осадка образуется оксид металла, масса которого 0,5 г. Следовательно, на оксид металла приходится половина массы сульфата.

ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО ХИМИИ
МУНИЦИПАЛЬНАЯ ПРЕДМЕТНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КОМИССИЯ

Если соотношение оксида металла и SO_3 в сульфате 1:1, то того, молярная масса SO_3 равна молярной массе оксида металла: $M(\text{Me}_x\text{O}_y) = 80$ г/моль. При такой молярной массе оксида металлом может быть только медь.

2. Уравнение реакции, протекающей при сливании растворов сульфата меди(II) и карбоната натрия



Реакция разложения гидроксокарбоната меди(II) при прокаливании:



При добавлении к сульфату меди раствора иодида калия протекает реакция:



При промывании спиртом иод растворится, в осадке останется только иодид меди (I).

2. Иодид меди(I) вступает в реакцию с иодидом калия и образует комплексное соединение, для определения состава которого рассчитываются количества веществ:

$$n(\text{CuSO}_4) = \frac{m}{M} = \frac{1}{160} = 0,006 \text{ моль}$$

$$n(\text{KI в насыщенном растворе}) = \frac{148,6 \cdot 1,75}{148,6 + 100} = 1,046 \text{ г}$$

$$n(\text{KI}) = \frac{m}{M} = \frac{1,046}{166} = 0,006 \text{ моль}$$

Следовательно, соотношение компонентов в комплексном соединении равно 1:1, поэтому уравнение реакции иодида меди(I) с иодидом калия имеет вид:



Таким образом, в растворе образуется комплексное соединение меди(I) - $\text{K}[\text{CuI}_2]$ - *дйододокупрат (I) калия*.

ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО ХИМИИ
МУНИЦИПАЛЬНАЯ ПРЕДМЕТНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КОМИССИЯ

СИСТЕМА ОЦЕНИВАНИЯ:

| | | |
|----|---|----------------|
| 1. | Расчет массы сульфата в растворе | 1 балл |
| 2. | Предположение состава осадка и остатка после прокаливания | 1 балл |
| 3. | Определение меди | 2 балла |
| 4. | Уравнения реакции 1, 2, 3 по 1 баллу за каждое | 3 балла |
| 5. | Уравнение реакции 4 | 2 балла |
| 6. | Название комплекса | 1 балл |

Максимальная оценка за правильно выполненное задание – 10 баллов.

ЗАДАЧА 3.

Сжиженная пропан-бутановая смесь широко используется в качестве топлива в двигателях внутреннего сгорания. Транспортируют сжиженную углеводородную смесь в специальных резервуарах при высоком давлении. Пропан и бутан сильно различаются по температуре кипения, поэтому эти два углеводорода не применяют в чистом виде. Пропан закипает при температуре -43°C , а переход бутана из жидкого состояния в газообразное происходит при температуре $-0,5^{\circ}\text{C}$. При низких зимних температурах сжиженный бутан в чистом виде не будет работать как газообразное топливо, а в условиях жаркого климата пропан может вызвать взрывоопасное повышение давления в резервуаре. Поэтому в зависимости от климатической зоны содержание двух углеводородов в сжиженном газе изменяется в широких пределах. «Летняя» сжиженная углеводородная смесь содержит не менее 40 % пропана, а в «зимней смеси» содержание легкого алкана должно быть не менее 75 %.

Тепловой эффект реакции горения смеси пропана и бутана составляет 1206,19 кДж. После пропускания продуктов сгорания смеси через хлоркальциевую трубку масса трубки увеличилась на 41,4 г.

1. Определите количественный состав газовой смеси (в объемных долях) и объем газовой смеси, измеренный при давлении 2 атм. и температуре 25°C , если

ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО ХИМИИ
МУНИЦИПАЛЬНАЯ ПРЕДМЕТНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КОМИССИЯ

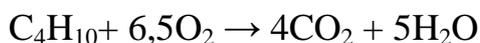
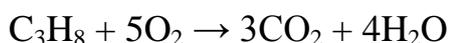
теплоты образования пропана, бутана, углекислого газа и воды составляют 103,85 кДж/моль; 124,70 кДж/моль; 393,50 кДж/моль и 241,83 кДж/моль соответственно.

2. К «летней» или «зимней» смеси относится описанная в задаче смесь алканов?

Максимальный балл – 10

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ 3.

1. Уравнения реакций горения алканов:



Тепловые эффекты реакций горения пропана и бутана составляют:

$$\begin{aligned} Q_{\text{р.}}(\text{C}_3\text{H}_8) &= 3Q_{\text{обр.}}(\text{CO}_2) + 4Q_{\text{обр.}}(\text{H}_2\text{O}) - Q_{\text{обр.}}(\text{C}_3\text{H}_8) = \\ &= 3 \cdot 393,50 + 4 \cdot 241,83 - 103,85 = 2043,97 \text{ кДж/моль} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{р.}}(\text{C}_4\text{H}_{10}) &= 4Q_{\text{обр.}}(\text{CO}_2) + 5Q_{\text{обр.}}(\text{H}_2\text{O}) - Q_{\text{обр.}}(\text{C}_4\text{H}_{10}) = \\ &= 4 \cdot 393,50 + 5 \cdot 241,83 - 124,70 = 2658,45 \text{ кДж/моль} \end{aligned}$$

2. Обозначим количества веществ алканов в газовой смеси:

$$n(\text{C}_3\text{H}_8) = x \text{ моль}, n(\text{C}_4\text{H}_{10}) = y \text{ моль}$$

Тогда тепловой эффект реакции горения смеси алканов равен:

$$Q_{\text{р.}}(\text{смесь}) = x \cdot Q_{\text{р.}}(\text{C}_3\text{H}_8) + y \cdot Q_{\text{р.}}(\text{C}_4\text{H}_{10}) = x \cdot 2043,97 + y \cdot 2658,45 = 1206,19 \text{ кДж}$$

3. Масса хлоркальциевой трубки увеличилась за счет сорбции воды, количество которой равно:

$$n(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m}{M} = \frac{41,4}{18} = 2,3 \text{ моль}$$

Тогда $n(\text{H}_2\text{O}) = n(\text{H}_2\text{O} \text{ при горении } \text{C}_3\text{H}_8) + n(\text{H}_2\text{O} \text{ при горении } \text{C}_4\text{H}_{10}) =$
 $= 4x + 5y = 2,3 \text{ моль.}$

4. При решении системы уравнений:

$$\begin{cases} x \cdot 2043,97 + y \cdot 2658,45 = 1206,19 \\ 4x + 5y = 2,3 \end{cases}$$

определяются значения переменных: $x = 0,2 \text{ моль}$; $y = 0,3 \text{ моль}$.

ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО ХИМИИ
МУНИЦИПАЛЬНАЯ ПРЕДМЕТНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КОМИССИЯ

5. Мольные доли алканов составляют:

$$\varphi(\text{C}_3\text{H}_8) = \frac{n(\text{C}_3\text{H}_8)}{n(\text{C}_3\text{H}_8) + n(\text{C}_4\text{H}_{10})} = \frac{0,2}{0,2 + 0,3} = 0,4 \text{ или } 40\%$$

$$\varphi(\text{C}_4\text{H}_{10}) = \frac{n(\text{C}_4\text{H}_{10})}{n(\text{C}_3\text{H}_8) + n(\text{C}_4\text{H}_{10})} = \frac{0,3}{0,2 + 0,3} = 0,6 \text{ или } 60\%$$

Объем газовой смеси равен:

$$V(\text{C}_3\text{H}_8 + \text{C}_4\text{H}_{10}) = \frac{n(\text{C}_3\text{H}_8 + \text{C}_4\text{H}_{10})RT}{P} = \frac{0,5 \cdot 8,31 \cdot 298}{202,33} = 6,11 \text{ л}$$

6. Смесь, содержащая 40 % пропана, относится к «летней» смеси.

СИСТЕМА ОЦЕНИВАНИЯ:

| | | |
|----|---|----------------|
| 1. | Уравнения горения алканов по 0,5 балла за каждое | 1 балл |
| 2. | Расчет тепловых эффектов реакций горения алканов по 2 балла за каждое | 4 балла |
| 3. | Составление системы уравнений и ее решение | 3 балла |
| 4. | Расчет объемных долей газов и объема газовой смеси по 0,5 балла за каждое | 1 балла |
| 5. | Отнесение газовой смеси к «летней» | 1 балл |

Максимальная оценка за правильно выполненное задание – 10 баллов.

ЗАДАЧА 4.

Карбоновые кислоты очень широко распространены в природе. Они содержатся в растениях, присутствуют в биологических жидкостях животных и насекомых. Капроновая, каприловая и каприновая кислоты, содержащиеся в своем составе соответственно 6, 8 и 10 углеродных атомов, найдены в козьем жире и молоке. Лауриновая кислота (лавровая) впервые была обнаружена в лавровом масле. Она же содержится в кокосовом и пальмовом маслах, в маслах сливовых косточек и киви. Маргариновая кислота содержится в бараньем жире, в сливочном масле, в

ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО ХИМИИ
МУНИЦИПАЛЬНАЯ ПРЕДМЕТНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КОМИССИЯ

оливковым, подсолнечном и арахисовом маслах. Пентадециловая кислота содержится в небольших количествах в сливочном масле, в рыбьем, говяжьем и бараньем жирах. Арахидовая кислота содержится в коровьем масле, в масле земляного ореха (арахис), в маслах черного кофе, манго и семян смородины. Запах молочной кислоты, которая содержится в поте человека, привлекает комаров, которые чувствуют ее на довольно-таки значительном расстоянии. Поэтому, сколько бы Вы не пытались отогнать назойливого комара, он все равно хорошо чувствует свою жертву.

Газы, выделившиеся при нагревании в присутствии серной кислоты смеси двух предельных природных карбоновых кислот, не имеющих заместителей, пропустили через 15 мл 7,36 %-ного раствора гидроксида натрия (плотность 1,087 г/мл). В растворе вся щелочь прореагировала и образовалась средняя минеральная соль. Оставшуюся часть газа пропустили в реакцию с газообразным веществом, выделившимся при реакции 3,48 г оксида марганца(IV) с концентрированной соляной кислотой. После завершения реакции оставшегося газа с выделившимся веществом образовался единственный продукт X с массовой долей кислорода 16,1616 %.

1. Определите структуру карбоновых кислот.
2. Рассчитайте массовые доли кислот в смеси, если масса смеси кислот составляла 2,500 г.
3. Напишите уравнения всех реакций, приведенные в условиях задачи.

Максимальный балл – 10

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ 4.

1. В результате взаимодействия продуктов нагревания кислот со щелочью образуется средняя минеральная соль, можно предположить, что в продуктах нагревания содержится CO_2 - углекислый газ, а минеральная соль – это карбонат натрия:



ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО ХИМИИ
МУНИЦИПАЛЬНАЯ ПРЕДМЕТНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КОМИССИЯ

Следовательно, можно определить количество углекислого газа:

$$n(\text{NaOH}) = \frac{V_{\text{p-ра}} \cdot \rho_{\text{p-ра}} \cdot \omega_{\text{p-ра}}}{M(\text{NaOH})} = \frac{15 \cdot 1,087 \cdot 0,0736}{40} = 0,03 \text{ моль}$$

$$n(\text{CO}_2) = 0,015 \text{ моль}$$

2. В результате реакции оксида марганца(IV) с концентрированной соляной кислотой выделяется хлор:

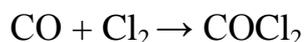


Следовательно, в продукте X есть и атомы кислорода и атомы хлора.

Молярную массу продукта X можно установить по массовой доле кислорода: если $n(\text{X}) = n(\text{O})$, то

$$M(\text{X}) = \frac{m(\text{X}) \cdot M(\text{O})}{m(\text{O})} = \frac{100 \cdot 16}{16,1616} = 99 \text{ г/моль}$$

Тогда молекулярная формула продукта X – COCl_2 – фосген, а реагирующий с хлором газ – CO – оксид углерода(II):

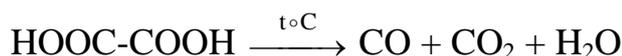


По массе оксида марганца(IV) рассчитывается количество угарного газа

$$n(\text{MnO}_2) = \frac{m}{M} = \frac{3,48}{87} = 0,04 \text{ моль}$$

$$n(\text{Cl}_2) = 0,04 \text{ моль}, n(\text{CO}) = 0,04 \text{ моль}.$$

3. Образование угарного и углекислого газов может происходить при разложении смеси муравьиной и щавелевой кислот:



4. Так как, $n(\text{CO}_2) = 0,015$ моль, значит $n(\text{НООС-СООН}) = 0,015$ моль, тогда

$$m(\text{НООС-СООН}) = m \cdot M = 0,015 \cdot 90 = 1,35 \text{ г},$$

$$n(\text{CO из НСООН}) = n(\text{CO общ.}) - n(\text{CO из НООС-СООН}) = \\ = 0,04 - 0,015 = 0,025 \text{ моль},$$

$$m(\text{НСООН}) = m \cdot M = 0,025 \cdot 46 = 1,15 \text{ г},$$

ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО ХИМИИ
МУНИЦИПАЛЬНАЯ ПРЕДМЕТНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КОМИССИЯ

Общая масса кислот равна $1,35 + 1,15 = 2,5$ г, что совпадает с условиями задачи.

$$\omega(\text{НСООН}) = \frac{m(\text{НСООН})}{m(\text{НСООН}) + m(\text{НООС-СООН})} = \frac{1,15}{2,5} \cdot 100 \% = 46 \%$$

$$\omega(\text{НООС-СООН}) = 54 \%$$

СИСТЕМА ОЦЕНИВАНИЯ:

| | | |
|----|---|------------------|
| 1. | Определение CO_2 и расчет его количества | 0,5 балла |
| 2. | Определение фосгена и расчет количества CO | 4 балла |
| 3. | Определение структуры кислот | 2 балла |
| 4. | Расчет массовых долей кислот в смеси | 1 балл |
| 5. | Уравнения реакций по 1 баллу за каждое | 2,5 балла |

Максимальная оценка за правильно выполненное задание – 10 баллов.

ЗАДАЧА 5.

В пяти пробирках находятся водные растворы глюкозы, сахарозы, глицерина, щавелевой кислоты и этилового спирта.

1. Предложите план определения содержимого каждой пробирки, используя в качестве реактивов растворы сульфата меди(II), гидроксида калия и соляной кислоты и любое химическое оборудование. Решение представьте в виде таблицы, в которой обозначьте возможные аналитические признаки реакций.

2. Приведите уравнения реакций, используемых для определения веществ.

Максимальный балл – 10

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ 5.

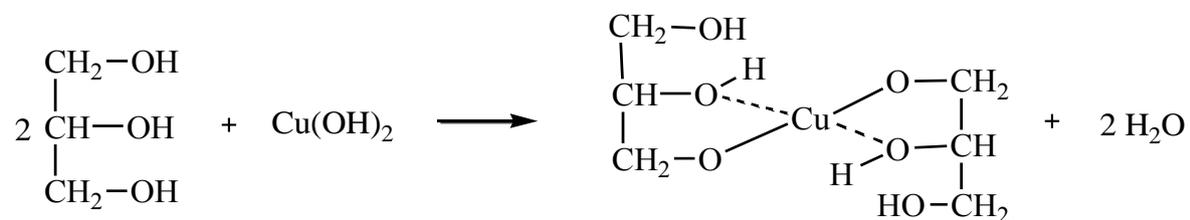
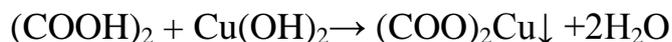
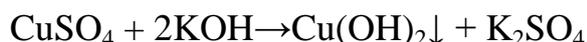
1. План экспериментального определения веществ: вещества можно различить с помощью свежеприготовленного гидроксида меди(II):

ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО ХИМИИ
МУНИЦИПАЛЬНАЯ ПРЕДМЕТНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КОМИССИЯ

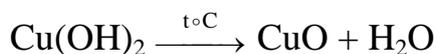
| | C ₆ H ₁₂ O ₆ | C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁ | C ₃ H ₉ O ₃ | H ₂ C ₂ O ₄ | C ₂ H ₅ OH |
|---------------------|---|---|--|--|----------------------------------|
| Cu(OH) ₂ | сине-фиолетовый раствор | сине-фиолетовый раствор | сине-фиолетовый раствор | бело-голубой осадок | - |
| После нагревания | оранжево-красный осадок | почернение | почернение | | черный осадок |

Согласно данным таблицы сахара и глицерин одинаково взаимодействуют с Cu(OH)₂ как без нагревания, так и при нагревании. Следовательно, чтобы их различить, необходимо провести гидролиз сахарозы кипячением с соляной кислотой. После чего необходимо провести реакцию с Cu(OH)₂ при нагревании и наблюдать в пробирке с гидролизованной сахарозой образование красного осадка, поскольку в ходе гидролиза образовалась глюкоза.

2. Уравнения реакций:



Подобные реакции дают и глюкоза, и сахароза (засчитывается одна реакция образования комплексного соединения).



СИСТЕМА ОЦЕНИВАНИЯ:

| | | |
|----|--|----------|
| 1. | План эксперимента | 4 балла |
| 2. | Уравнения реакций по 1 баллу за каждое | 6 баллов |

Максимальная оценка за правильно выполненное задание – 10 баллов.