

МЕЖРЕГИОНАЛЬНАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ  
"БУДУЩИЕ ИССЛЕДОВАТЕЛИ - БУДУЩЕЕ НАУКИ"

г.Саров 2024/25 уч.г.

ХИМИЯ  
Финальный тур

9 класс

Задание №1

Белое кристаллическое вещество **А** представляет собой соль кислородосодержащей кислоты, нерастворимую в воде и кислотах и нашедшую свое применение для рентгенографического исследования органов пищеварения. При нагревании в токе водорода происходит превращение соли **А** в соль **В**. Взаимодействие соли **В** с водой приводит к выделению неприятно пахнущего вещества **С** и образованию в растворе двух соединений **Д** и **Е**. При длительном стоянии на воздухе этот раствор мутнеет вследствие выпадения в осадок соли **Ф**, которая при нагревании разлагается с выделением бесцветного газа **Г** и образованием белого твёрдого вещества **К**. Под действием воды **К** превращается в соединение **Е**. При взаимодействии соли **Ф** с соляной кислотой образуется раствор соли **Н**, которая используется в аналитической химии в качестве реагента для качественного определения одного из анионов.

1. Установите формулы соединений **А – Н**.
2. Запишите уравнения всех реакций, упомянутых в условии задачи.
3. Предложите, каким способом соединение **А** можно перевести в раствор. Ответ подтвердите соответствующим уравнением реакции.

30 баллов

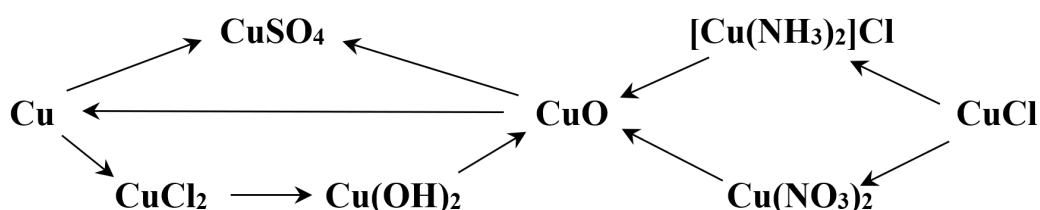
Задание №2

Пиротехническая смесь — это гетерогенная смесь, способная к самостоятельному горению, которое сопровождается световыми, дымовыми, тепловыми и звуковыми эффектами. В осветительных ракетах и снарядах используется двойная смесь: порошок из металла с высокой удельной теплотой сгорания  $Mg$  и окислителя  $NaNO_3$ . Для получения необходимого эффекта на 1 г пиротехнической смеси должно выделяться не менее 3 кДж теплоты. Определите минимальную массу магния, которую нужно добавить к 100 г нитрата натрия для устойчивого горения смеси. Известно, что энтальпия реакции разложения нитрата натрия составляет  $-204$  кДж/моль, а энтальпия сгорания магния равна  $601.8$  кДж/моль.

18 баллов

Задание №3

Запишите уравнения реакций, соответствующих превращениям:



20 баллов

Задание №4

К 130 г 16%-ного раствора хлорида бария добавили 18.9 г сульфита натрия. Через образовавшуюся смесь пропустили при перемешивании 2.24 л оксида серы (IV).

Определите массу полученного осадка и массовые доли веществ в образовавшемся растворе.

32 балла

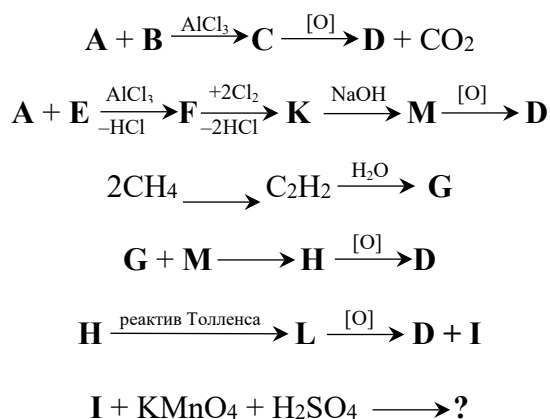
### 10 класс

**Задание №1.** При взаимодействии углеводорода **A** с бромоводородом образуется смесь двух изомеров **B** и **C**, в которой одного из изомеров гораздо больше, чем второго. При последовательной обработке смеси водным раствором щелочи, а затем оксидом меди (II) при нагревании изомер **B** образует соединение **D**, способное обесцветить водный раствор перманганата калия, а изомер **C** – вещество **E** симметричного строения, содержащее 69,77% углерода и не обесцвечивающего бромную воду.

1. Установите структурные формулы веществ **A** – **E**.
2. Составьте уравнения всех описанных реакций.
3. Какой из изомеров (**B** или **C**) преобладает в смеси? Ответ аргументируйте.

25 баллов

**Задание №2.** Запишите уравнения всех приведенных реакций.



Определите вещества **A** – **M**, если известно, что:

- а) **D** и **I** относятся к классу кислот;
- б) при обработке **D** этанолом образуется вещество с молекулярной массой 150;
- в) относительная молекулярная масса **I**, содержащего 71.12% кислорода, равна 90.

30 баллов

**Задание №3.** Газообразный водород под давлением 5 атм и при температуре 25°C имеет стоимость 20 у.е за кубометр, газообразный метан при тех же условиях – 5 у.е за кубометр и уголь, представляющий собой чистый графит, – 3 у.е. за килограмм.

1. Запишите уравнения сгорания каждого из веществ и рассчитайте тепловой эффект.

2. На основании условия задачи, сделайте вывод о том, какой из видов топлива дает наибольшую энергию сгорания при расчете на: а) единицу объема; б) единицу массы; в) одну у.е. стоимости.

При расчете примите, что теплоты образования  $Q(\text{CH}_4) = 74.8$  кДж/моль,  $Q(\text{CO}_2) = 393.5$  кДж/моль,  $Q(\text{H}_2\text{O}, \text{ж}) = 285.8$  кДж/моль; плотность графита: 2.27 г/см<sup>3</sup>.

15 баллов

**Задание №4.** Хлорид аммония массой 10.7 г прибавили к 100 г 13.8%-ного раствора нитрита натрия. При нагревании этого раствора выделился газ объемом 4.48 л (н.у.), а из раствора было получено 11.7 г белого кристаллического вещества, образующего осадок при действии нитрата серебра. Выделившийся газ смешали с газом, полученным при действии избытка соляной кислоты на 39 г цинка. Эта газовая смесь

была последовательно пропущена над платиновым катализатором при 350°C и затем, после охлаждения, через 100 мл 2М раствора серной кислоты. Объем газа при этом уменьшился, а для нейтрализации оставшегося раствора потребовалось 41.76 мл 22.4%-ного раствора гидроксида калия (плотность 1.2 г/мл). Определите состав газовой смеси (в объёмных %) после пропускания над платиновым катализатором. Запишите уравнения проведенных реакций.

**30 баллов**

### 11 класс

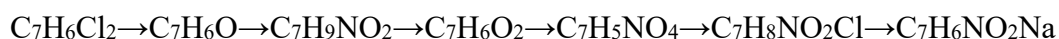
#### Задание №1

Массовая доля углерода в смеси двух ароматических азотосодержащих веществ, являющихся изомерами, равна 78.5%. Эта смесь может прореагировать с 950 мл хлороводорода, измеренного при давлении 760 мм.рт.ст и температуре 289.5 К, или с 320 г бромной воды с массовой долей растворенного вещества 4%. Установите возможные структурные формулы веществ в исходной смеси и рассчитайте их массовые доли, если известно, что одно из этих веществ является гомологом анилина, а другое – пиридина.

**20 баллов**

#### Задание №2

Запишите уравнения реакций, с помощью которых можно осуществить следующие превращения:



Укажите условия протекания реакций. В уравнениях приведите структурные формулы веществ.

**24 балла**

#### Задание №3

Газовая смесь, полученная при обжиге пирита, пропущена через контактный аппарат ( $T = 530^\circ\text{C}$ ,  $p = 120$  МПа). Известно, что исходная смесь содержала 10%  $\text{SO}_2$ , 79%  $\text{N}_2$  и 11%  $\text{O}_2$  по объему, а конечная смесь – 3%  $\text{SO}_2$ . Вычислите константу равновесия  $K_p$  реакции  $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{SO}_3$ .

**26 баллов**

#### Задание №4

Насыщенный раствор гидрокарбоната натрия (растворимость 6.9 г в 100 г воды) массой 150 г нагрели до 100°C. После охлаждения раствор разделили на две части, причем масса одной части оказалась в 9 раз больше массы другой части. К меньшей части раствора добавили избыток соляной кислоты, при этом выделилось 182 мл газа (н.у.). Через большую часть раствора пропустили 2.24 л (н.у.) оксида серы (IV). Определите состав этого раствора.

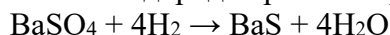
**30 баллов**

9 класс

Задание №1

1. На основании практического применения, физических и химических свойств можно предположить, что вещество **А** представляет собой сульфат бария  $\text{BaSO}_4$ . (В медицинской практике широко применяется так называемая баритовая каша, которую используют для медицинской рентгенодиагностики)/

При нагревании сульфата бария в токе водорода протекает реакция:



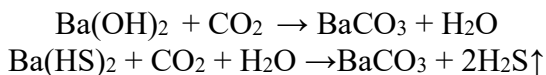
**В** – это сульфид бария  $\text{BaS}$ .

2. На воздухе происходит гидролиз сульфида с образованием сероводорода, гидросульфида бария и гидроксида бария.



**С** –  $\text{H}_2\text{S}$ , **Д** –  $\text{Ba}(\text{HS})_2$ , а **Е** –  $\text{Ba}(\text{OH})_2$ .

Кроме того, вследствие поглощения углекислого газа, водный раствор сульфида бария мутнеет.



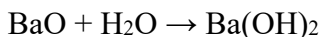
**Г** –  $\text{BaCO}_3$ .

3. При термоллизе карбоната бария происходит его разложение до оксида бария и углекислого газа.



**Г** – это оксид углерода (IV), а **К** – это оксид бария.

Оксид бария при взаимодействии с водой способен образовывать гидроксид **Е**, что подтверждает правильность рассуждения.



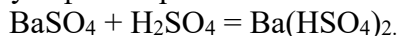
4. При взаимодействии с кислотой карбонат бария переходит в соль с выделением углекислого газа.



**Н** – хлорид бария  $\text{BaCl}_2$ .

**А** –  $\text{BaSO}_4$ ; **В** –  $\text{BaS}$ ; **С** –  $\text{H}_2\text{S}$ ; **Д** –  $\text{Ba}(\text{HS})_2$ ; **Е** –  $\text{Ba}(\text{OH})_2$ ; **Г** –  $\text{BaCO}_3$ ; **К** –  $\text{CO}_2$ ; **К** –  $\text{BaO}$ ; **Н** –  $\text{BaCl}_2$

5. Сульфат бария относится к довольно инертным соединениям. Он не взаимодействует даже с концентрированной азотной кислотой, не растворяется в щелочах. Однако при нагревании его с концентрированной серной кислотой, последний удаётся «перевести в раствор», благодаря образованию кислой соли – гидросульфата бария.



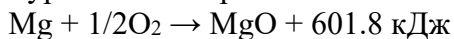
Примечание:

1. за установление формул соединений **А** – **Н** – 18 баллов (по 2 балла за каждое соединение)
2. за составление уравнений химических реакций – 7 баллов (по 1 баллу за каждое уравнение)
3. за ответ на вопрос 3 – 5 баллов (2 балла – за уравнение химической реакции, 3 балла – за обоснование ответа)

**Итого: 30 баллов**

**Задание №2**

1. Составим термохимическое уравнение сгорания магния



При сгорании 1 моль (соответственно 24 г) магния выделяется 601.8 кДж теплоты.

2. Пусть необходимо взять  $x$  г магния, тогда масса пиротехнической смеси будет составлять:

$$m = 100 + x$$

При сгорании  $x$  г магния выделяется  $(601.8 \cdot x / 24)$  кДж теплоты.

При разложении 100 г нитрата натрия поглощается  $(-204.8 \cdot 100 / 85)$  кДж.

Тогда, при сгорании пиротехнической смеси массой  $m = 100 + x$  выделится:

$$Q = (601.8 \cdot x / 24) - (204.8 \cdot 100 / 85) \text{ кДж теплоты.}$$

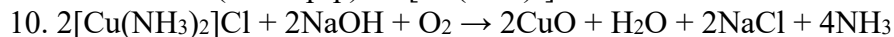
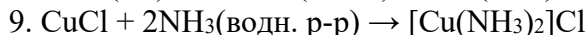
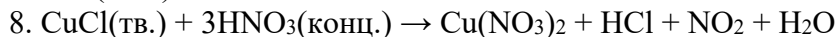
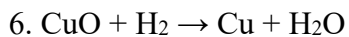
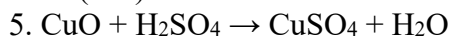
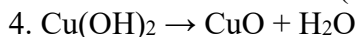
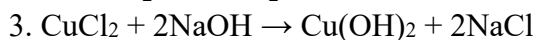
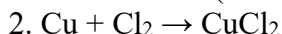
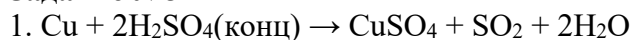
3. По условию задачи для устойчивого горения необходимо, чтобы на 1 г смеси выделялось не менее 3 кДж теплоты. Из получившегося уравнения находим  $x$ :

$$Q = [(601.8 \cdot x / 24) - (204.8 \cdot 100 / 85)] / (100 + x) = 3$$
$$x = 14 \text{ (г).}$$

**Примечание:**

1. за составление термохимического уравнения – 4 балла
2. за выражение количества теплоты, выделившегося при сгорании пиротехнической смеси – 8 баллов
3. за расчет необходимой массы магния – 6 баллов

**Итого: 18 баллов**

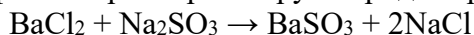
**Задание №3****Примечание:**

за составление уравнений химических реакций – 20 баллов (по 2 балла за каждое уравнение)

**Итого: 20 баллов**

#### Задание №4

1. При добавлении сульфита натрия к раствору хлорида бария протекает реакция:

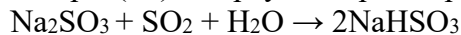


Определим количества исходных веществ:

$$n(\text{Na}_2\text{SO}_3) = 18.9/126 = 0.15 \text{ моль}, n(\text{BaCl}_2) = 0.16 \cdot 130/208 = 0.1 \text{ моль}.$$

$\text{BaCl}_2$  – недостаток, следовательно в результате реакции образовалось 0.1 моль  $\text{BaSO}_3$ , а в растворе осталось  $(0.15 - 0.1) = 0.05$  моль  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ .

2. При пропускании оксида серы (IV) в первую очередь протекает реакция:



Определим количество вещества оксида серы (IV):

$$n(\text{SO}_2) = 2.24/22.4 = 0.1 \text{ моль (избыток)}$$

Из уравнения следует, что в реакцию вступило  $n(\text{Na}_2\text{SO}_3) = n(\text{SO}_2) = 0.05$  моль.

3. Оставшиеся  $n(\text{SO}_2) = (0.1 - 0.05) = 0.05$  моль частично растворяют осадок:



Из уравнения следует, что  $n(\text{SO}_2) = n(\text{BaSO}_3) = 0.05$  моль. После этой реакции осталось  $n(\text{BaSO}_3) = 0.1 - 0.05 = 0.05$  моль осадка. Масса осадка равна  $m(\text{BaSO}_3) = 0.05 \cdot 217 = 10.85$  г.

4. В конечном растворе содержатся 0.2 моль  $\text{NaCl}$ , 0.1 моль  $\text{NaHSO}_3$  и 0.05 моль  $\text{Ba}(\text{HSO}_3)_2$ .  $m(\text{NaCl}) = 0.2 \cdot 58.5 = 11.7$  г,  $m(\text{NaHSO}_3) = 0.1 \cdot 104 = 10.4$  г,  $m(\text{Ba}(\text{HSO}_3)_2) = 0.05 \cdot 299 = 14.95$  г

Масса образовавшегося раствора равна:

$$m_{\text{р-ра}} = m(\text{BaCl}_2)_{\text{р-р}} + m(\text{Na}_2\text{SO}_3) + m(\text{SO}_2) - m(\text{BaSO}_3)$$

$$m_{\text{р-ра}} = 130 + 18.9 + 0.1 \cdot 64 - 10.85 = 144.45 \text{ г}$$

Массовые доли солей в растворе:

$$w(\text{NaCl}) = 11.7/144.45 = 0.081 \text{ (8.1\%)}$$

$$w(\text{NaHSO}_3) = 10.4/144.45 = 0.072 \text{ (7.2 \%)}$$

$$w(\text{Ba}(\text{HSO}_3)_2) = 14.95/144.45 = 0.103 \text{ (10.3\%)}$$

#### Примечание:

1. за составление уравнений химических реакций – 9 баллов (по 3 балла за каждое уравнение)

2. за расчет массы осадка – 8 баллов

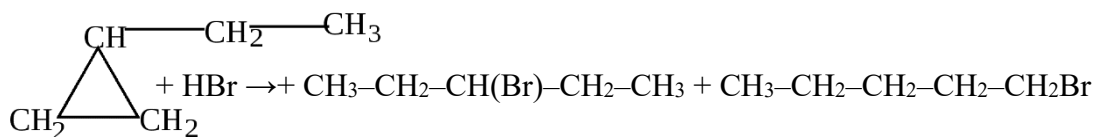
3. за расчет массовых долей солей в растворе – 15 баллов (по 5 баллов за каждое значение)

**Итого: 32 балла**

## 10 класс

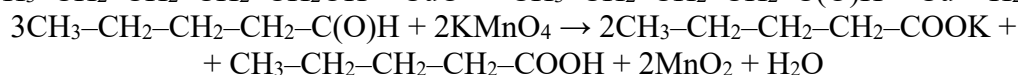
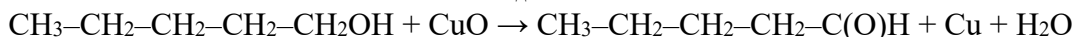
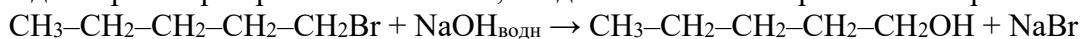
### Задание №1

1. Вещество **A** – этилциклопропан. При взаимодействии с бромоводородом протекает реакция:



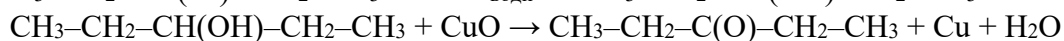
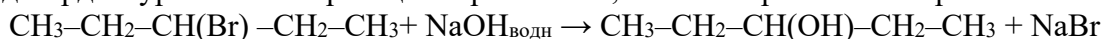
**B** и **C** – изомеры, 1-бромпентан и 3-бромпентан

2. По условию задачи, при последовательной обработке смеси водным раствором щелочи, а затем оксидом меди (II) при нагревании изомер **B** образует соединение **D**, способное обесцветить водный раствор перманганата калия, следовательно изомер **B** – это 1-бромпентан.



**D** – пентаналь

3. Подтвердим уравнениями реакции и расчетами, что изомер **C** – это 3-бромпентан.



**E** – пентанон-3

$$w(\text{C}) = 12 \cdot 5 / 86 = 0.6977 \text{ (69.77\%)}$$

4. В смеси будет преобладать изомер **C**, поскольку реакция присоединения бромоводорода к этилциклопропану идет по правилу Марковникова, т.е. через образование наиболее устойчивого карбокатиона.

### Примечание:

1. за установление структурных формул **A** – **E** – 10 баллов (по 2 балла за каждую формулу)

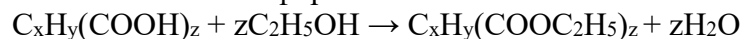
2. за составление уравнений химических реакций – 12 баллов (по 2 балла за каждое уравнение)

3. за ответ на вопрос 3 – 3 балла.

**Итого: 25 баллов**

## Задание №2

1. Взаимодействие кислот с этанолом представляет собой реакцию этерификации, протекающую с образованием сложных эфиров:



Выразим относительную молекулярную массу сложного эфира:

$$Mr(C_xH_y(COOC_2H_5)_z) = 12x + y + 73z = 150 \text{ (по условию)}$$

При  $z = 1$ , уравнение принимает вид:

$$12x + y = 77$$

Методом подстановки определим, что уравнению удовлетворяет только одно решение:  $x = 6$ ,  $y = 5$ , следовательно вещество **D** – бензойная кислота (что подтверждается и схемой превращения в условии задачи).

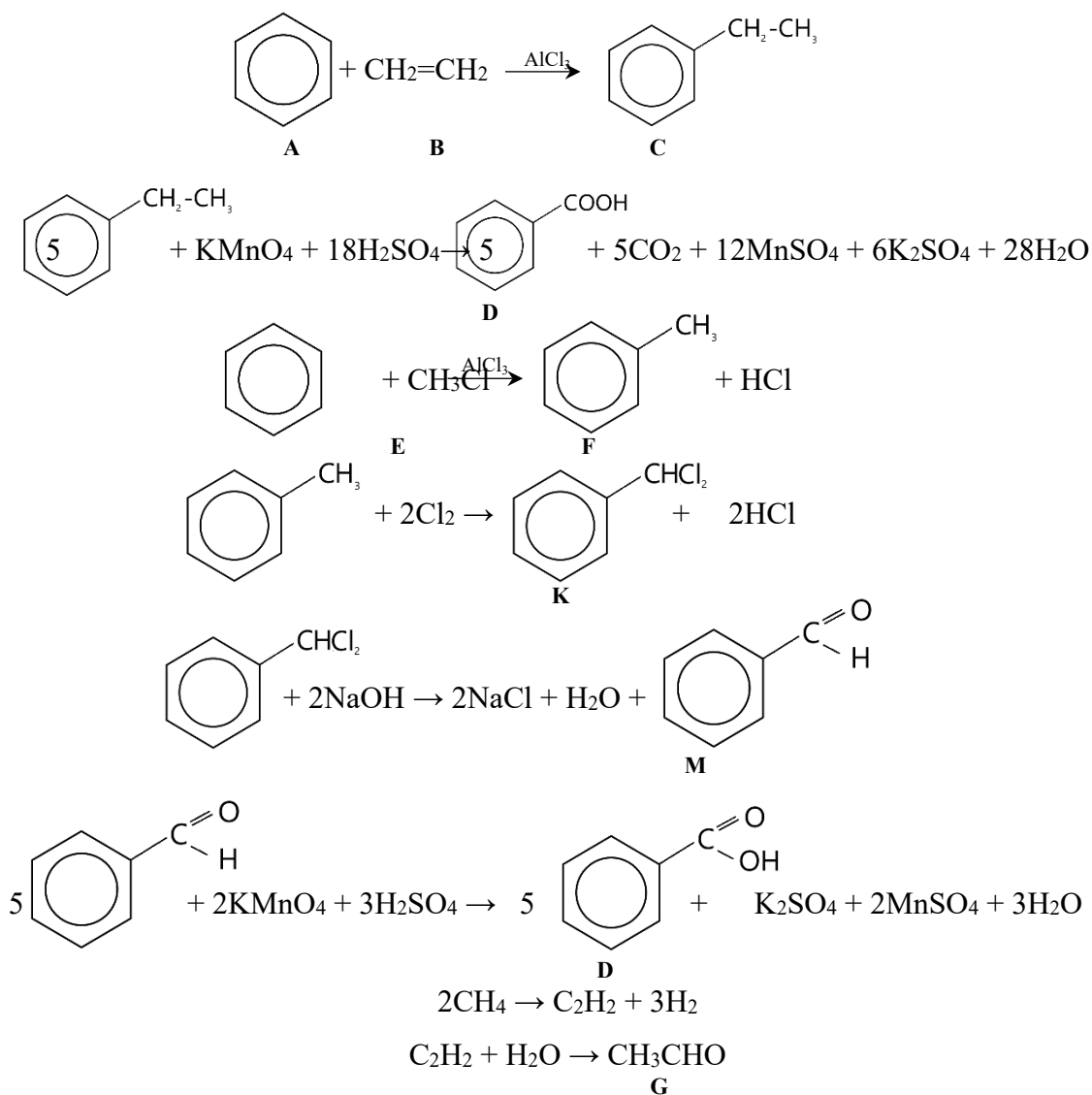
2. Определим число атомов кислорода в веществе **I**:  $0.7112 = 16 \cdot n / 90$ ;  $n = 4$ , тогда формула вещества **I** –  $C_aH_bO_4$ .

$$Mr(C_aH_bO_4) = 12a + b + 64 = 90$$

$$12a + b = 26$$

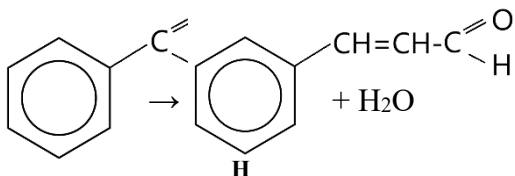
Методом подстановки определим, что уравнению удовлетворяет только одно решение:  $a = 2$ ,  $b = 2$ , следовательно вещество **I** –  $C_2H_2O_4$  – бензойная кислота.

3. Запишем уравнения реакций:

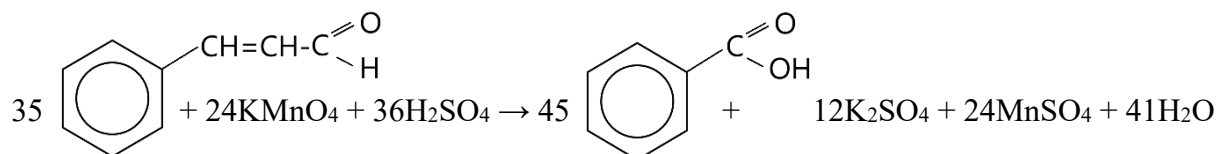




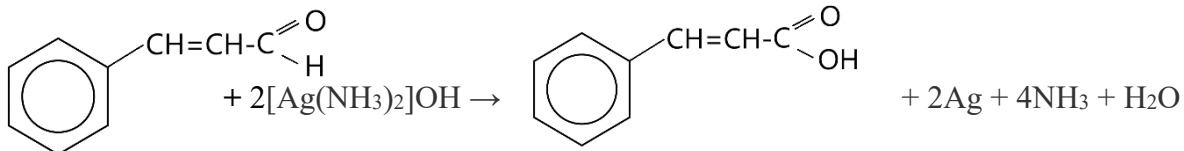
**М**



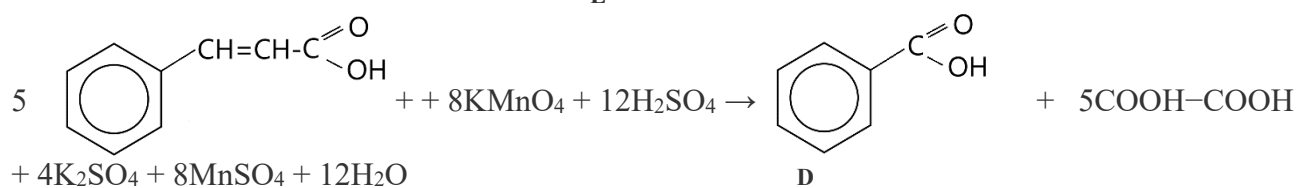
**Н**



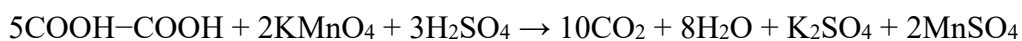
**Д**



**Л**



**Д**



**Примечание:**

1. за установление структурных формул **А – М** – 12 баллов (по 1 баллу за каждую формулу)

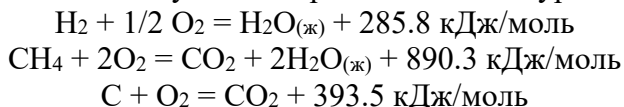
2. за обоснование установление состава вещества **Д** и **И** – 5 баллов

3. за составление уравнений химических реакций – 13 баллов (по 1 баллу за каждое уравнение)

**Итого: 30 баллов**

### Задание №3

1. Запишем уравнения сгорания каждого из веществ. Расчёт тепловых эффектов реакций сгорания по закону Гесса приводит к следующим термохимическим уравнениям:



2. а) Возьмём по одному литру каждого из веществ и рассчитаем количества вещества:

$$\nu(\text{H}_2) = \nu(\text{CH}_4) = \frac{pV}{RT} = \frac{506625 \text{ Па} \cdot 0.001 \text{ м}^3}{8,314 \cdot 298} = 0,204 \text{ моль}$$

$$\nu(\text{C}) = \frac{\rho V}{M} = \frac{2,27 \cdot 1000}{12} = 189 \text{ моль}$$

$$Q_{\text{сгор}}(\text{H}_2) = 0,204 \cdot 285,8 = 58.4 \text{ кДж}$$

$$Q_{\text{сгор}}(\text{CH}_4) = 0,204 \cdot 890,3 = 182 \text{ кДж}$$

$$Q_{\text{сгор}}(\text{C}) = 189 \cdot 393,5 = 74370 \text{ кДж.}$$

Наибольшая теплотворная способность на единицу объёма – у угля.

б) Возьмём по одному килограмму каждого из веществ:

$$\nu(\text{H}_2) = \frac{m}{M} = \frac{1000}{2} = 500 \text{ моль}$$

$$\nu(\text{CH}_4) = \frac{m}{M} = \frac{1000}{16} = 62,5 \text{ моль}$$

$$\nu(\text{C}) = \frac{m}{M} = \frac{1000}{12} = 83,3 \text{ моль}$$

$$Q_{\text{сгор}}(\text{H}_2) = 500 \cdot 285,8 = 142900 \text{ кДж}$$

$$Q_{\text{сгор}}(\text{CH}_4) = 62,5 \cdot 890,3 = 55600 \text{ кДж}$$

$$Q_{\text{сгор}}(\text{C}) = 83,3 \cdot 393,5 = 32800 \text{ кДж.}$$

Наибольшая теплотворная способность на единицу массы – у водорода.

в) Из результатов пунктов а) и б) следует, что теплота сгорания в расчёте на 1 у. е. для каждого из видов топлива равна:

$$Q_{\text{сгор}}(\text{H}_2) = 58.4 / 0.02 = 2920 \text{ кДж/у. е.}$$

$$Q_{\text{сгор}}(\text{CH}_4) = 182 / 0,005 = 36400 \text{ кДж/у. е.}$$

$$Q_{\text{сгор}}(\text{C}) = 32800 / 3 = 10900 \text{ кДж/у. е.}$$

Самое дешёвое топливо – природный газ.

### Примечание:

1. за составление термохимических уравнений – 9 баллов (по 3 балла за каждое уравнение)

2. за расчет теплотворной способности на единицу объёма – 2 балла

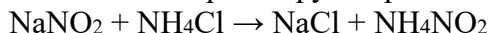
3. за расчет теплотворной способности на единицу массы – 2 балла

4. за расчет стоимости единицы топлива – 2 балла

**Итого: 15 баллов**

#### Задание №4

1. При добавлении хлорида аммония к раствору нитрата натрия протекает реакция:



Определим количества исходных веществ:

$$n(\text{NaNO}_2) = 100 \cdot 0.138 / 69 = 0.2 \text{ моль}$$

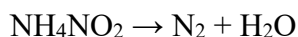
$$n(\text{NH}_4\text{Cl}) = 10.7 / 53.5 = 0.2 \text{ моль}$$

Следовательно, вещества прореагировали полностью, а в растворе остались только продукты реакции.  $n(\text{NaCl}) = n(\text{NH}_4\text{NO}_2) = 0.2 \text{ моль}$ .

$$m(\text{NaCl}) = 0.2 \cdot 58.5 = 11.7 \text{ г}$$

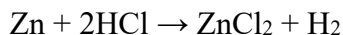
$$m(\text{NH}_4\text{NO}_2) = 0.2 \cdot 64 = 12.8 \text{ г}$$

2. При нагревании полученного раствора выделится газ в количестве  $4.48 / 22.4 = 0.2 \text{ моль}$ , а из оставшегося раствора получено 11.7 г белого кристаллического вещества, образующего осадок с нитратом серебра. Эти факты свидетельствуют о разложении нитрита натрия по реакции:



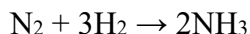
Следовательно, 0.2 моль – количество вещества азота  $\text{N}_2$ .

3. При растворении цинка в избытке соляной кислоты выделяется водород.

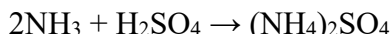


Количество вещества цинка  $n(\text{Zn}) = 39 / 65 = 0.6 \text{ моль}$ . В соответствии с уравнением реакции  $n(\text{Zn}) = n(\text{H}_2) = 0.6 \text{ моль}$ .

4. Смесь азота и водорода пропущена над платиновым катализатором, в результате образовалась смесь трех газов.

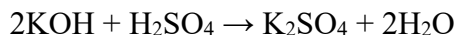


Данную смесь пропустили через 100 мл 2М раствора серной кислоты. Объем газов уменьшился за счет поглощения аммиака.



Общее количество серной кислоты в соответствии с условием задачи:  $n(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0.1 \cdot 2 = 0.2 \text{ моль}$ .

5. Для нейтрализации прореагировавшей кислоты потребовалось  $41.67 \cdot 1.2 \cdot 0.224 / 56 = 0.2 \text{ моль KOH}$ .



В соответствии с уравнением реакции в растворе осталось  $n(\text{H}_2\text{SO}_4) = n(\text{KOH}) / 2 = 0.1 \text{ моль}$ . В реакцию с аммиаком вступило  $0.2 - 0.1 = 0.1 \text{ моль H}_2\text{SO}_4$ , следовательно в равновесной смеси газов находилось  $n(\text{NH}_3) = 2 \cdot n(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0.1 \cdot 2 = 0.2 \text{ моль аммиака}$ .

6. На образование 0.2 моль аммиака  $\text{NH}_3$  израсходовалось 0.1 моль  $\text{N}_2$  и 0.3 моль  $\text{H}_2$ . В равновесной газовой смеси находилось 0.2 моль  $\text{NH}_3$ ,  $0.6 - 0.3 = 0.3 \text{ моль H}_2$  и  $0.2 - 0.1 = 0.1 \text{ моль N}_2$

Объемные доли газов в смеси:

$$\varphi(\text{NH}_3) = 0.2 / 0.6 = 0.33 \text{ (33\%)}, \varphi(\text{H}_2) = 0.3 / 0.6 = 0.5 \text{ (50\%)}, \varphi(\text{N}_2) = 0.1 / 0.6 = 0.17 \text{ (17\%)}$$

#### Примечание:

1. за составление уравнений химических реакций – 6 баллов (по 1 баллу за каждое уравнение)

2. за выполнение п.1 – 5 решения – 15 баллов (по 3 балла за каждый пункт)

3. за расчет объемных долей газов в смеси – 9 баллов

**Итого: 30 баллов**

## 11 класс

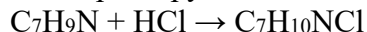
### Задание №1

1. Общая формула изомеров  $C_nH_{2n-5}N$ . Поскольку искомые вещества являются изомерами, то массовая доля азота в смеси не зависит от содержания веществ.

$$w(C) = 12/(14n+9) = 0.785, n = 7.$$

Вещества в смеси  $C_7H_9N$  – один из метиланилинов  $C_6H_4(CH_3)NH_2$  и гомолог пиридина – один из диметилпиридинов и этилпиридинов.

2. С хлороводородом оба вещества реагируют в соотношении 1:1:



Общее количество веществ в смеси:

$$n(C_7H_9N) = n(HCl) = 0.95 \cdot 101.3 / (8.31 \cdot 289.5) = 0.04 \text{ моль}.$$

3. С бромной водой реагирует только метиланилин, причем в зависимости от положения метильного радикала мольное отношение реагентов 1:2 или 1:3.

$$n(Br_2) = 320 \cdot 0.04 / 160 = 0.08 \text{ моль}$$

Если метильный радикал находится в орто- или пара-положении, то метиланилин реагирует с бромом в соотношении 1:2. Тогда  $n(C_6H_4(CH_3)NH_2) = 0.08/2 = 0.04$  моль, что невозможно, т.к. 0.04 моль – это общее количество метиланилина и гомолога пиридина. Следовательно, гомолог анилина – 3-метиланилин, который реагирует с бромом в соотношении 1:3.

$$n(C_6H_4(CH_3)NH_2) = 0.08/3 = 0.027 \text{ моль, тогда}$$

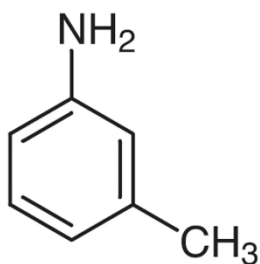
$$n(\text{гомолога пиридина}) = 0.04 - 0.027 = 0.013 \text{ моль}.$$

Массовые доли изомерных веществ в смеси равны мольным долям:

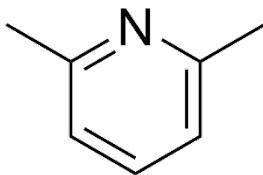
$$w(C_6H_4(CH_3)NH_2) = 0.027/0.04 = 0.667 (66.7\%)$$

$$w(\text{гомолога пиридина}) = 33.3\%$$

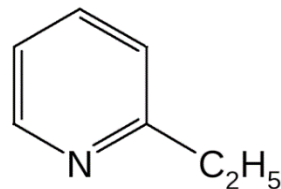
Возможные структурные формулы:



3-метиланилин



2,6-диметилпиридин



этилпиридин

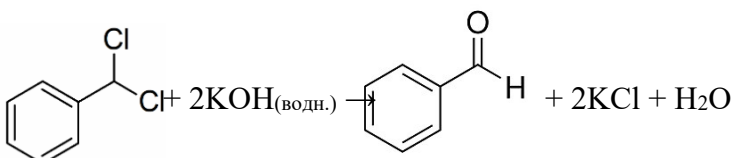
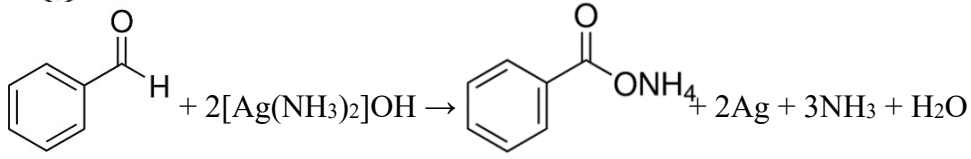
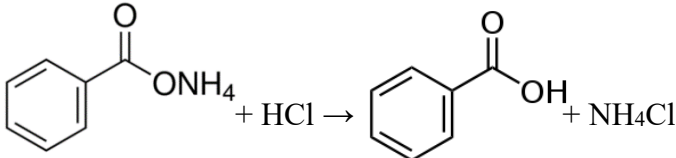
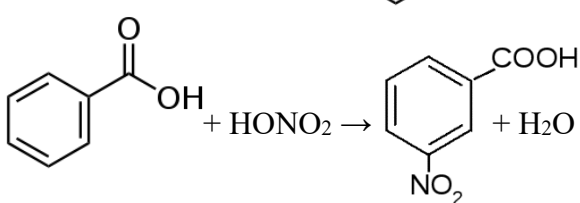
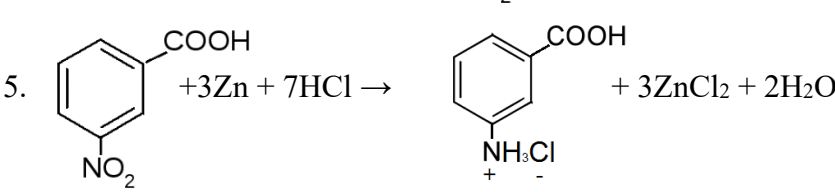
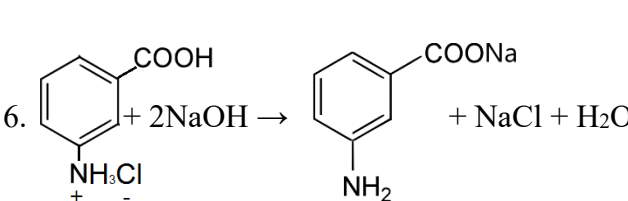
### Примечание:

1. за установление количественного состава изомеров – 6 баллов

2. за установление структуры каждого из изомеров – 14 баллов (для каждого из изомеров: 2 балла за структурную формулу, 5 баллов – за обоснование и расчет).

**Итого: 20 баллов**

**Задание №2**

1.   
ClC(c1ccccc1)Cl + 2KOH(водн.) -> O=Cc1ccccc1 + 2KCl + H2O
2.   
O=Cc1ccccc1 + 2[Ag(NH3)2]OH -> O=C(N)Cc1ccccc1 + 2Ag + 3NH3 + H2O
3.   
O=C(N)Cc1ccccc1 + HCl -> O=C(O)c1ccccc1 + NH4Cl
4.   
O=C(O)c1ccccc1 + HONO2 -> O=C(O)c1cccc([N+](=O)[O-])c1 + H2O
5.   
O=C(O)c1cccc([N+](=O)[O-])c1 + 3Zn + 7HCl -> O=C(O)c1cccc([NH3+])c1 + 3ZnCl2 + 2H2O
6.   
O=C(O)c1cccc([NH3+])c1 + 2NaOH -> O=C([O-])c1cccc(N)c1 + NaCl + H2O

**Примечание:**

1. за составление уравнений химических реакций – 24 балла (по 4 балла за каждое уравнение)

**Итого: 24 балла**

### Задание №3

1. Запишем выражение для константы равновесия реакции:

$$K_p = \frac{P_{SO_3}^2}{P_{SO_2}^2 P_{O_2}}$$

2. Предположим, что было взято 100 л исходной смеси, а выход продукта реакции равен  $x$ . Следовательно, в момент наступления равновесия газовая смесь содержала  $10(1 - x)$  л  $SO_2$ ,  $11 - 5x$  л  $O_2$ , 79 л  $N_2$  и  $10x$  л  $SO_3$ . Объем полученной смеси равен:

$$V = 10(1 - x) + 11 - 5x + 79 + 10x = 10 - 10x + 11 - 5x + 79 + 10x = 100 - 5x$$

3. По условию задачи объемная доля  $SO_2$  в конечной смеси составляет 3%, тогда:

$$\frac{10(1 - x)}{100 - 5x} = 0.03$$
$$x = 0.711$$

Таким образом,  $V = 100 - 5x = 100 - 5 \cdot 0.711 = 96.4$  (л).

4. Вычислим парциальные давления компонентов равновесной смеси:

$$P(SO_2) = \frac{V(SO_2)}{V} \cdot P = \frac{10(1 - x)}{V} \cdot P = \frac{10(1 - 0.711)}{96.4} \cdot 120 = 3.60 \text{ МПа}$$

$$P(SO_3) = \frac{V(SO_3)}{V} \cdot P = \frac{10x}{V} \cdot P = \frac{10 \cdot 0.711}{96.4} \cdot 120 = 8.85 \text{ МПа}$$

$$P(O_2) = \frac{V(O_2)}{V} \cdot P = \frac{11 - 5x}{V} \cdot P = \frac{11 - 5 \cdot 0.711}{96.4} \cdot 120 = 9.27 \text{ МПа}$$

5. Подставляем полученные значения в выражение для константы равновесия реакции:

$$K_p = \frac{P_{SO_3}^2}{P_{SO_2}^2 P_{O_2}} = \frac{8.85^2}{3.60^2 \cdot 9.27} = \frac{78.32}{120.13} = 0.65 \text{ МПа}^{-1}$$

### Примечание:

1. за нахождение объема полученной смеси – 10 баллов
2. за расчет парциальных давлений компонентов равновесной смеси – 12 баллов
3. за нахождение константы равновесия реакции – 4 балла

**Итого: 26 баллов**

#### Задание №4

1. Установим количество гидрокарбоната натрия в исходном растворе. Массовая доля  $\text{NaHCO}_3$  в насыщенном растворе равна:

$$w(\text{NaHCO}_3)_{\text{исх}} = 6.9/106.9 = 0.06455 \text{ (6.455\%)}$$

В 150 г насыщенного раствора находится  $m(\text{NaHCO}_3) = 0.06455 \cdot 150 = 9.682$  г.

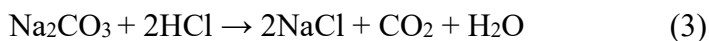
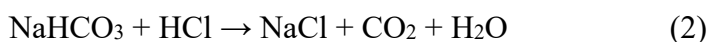
Количество вещества  $\text{NaHCO}_3$  равно  $n(\text{NaHCO}_3) = 9.682/84 = 0.1153$  моль.

2. При нагревании исходного водного раствора  $\text{NaHCO}_3$  до  $100^\circ\text{C}$  начинается разложение гидрокарбоната натрия:



Водный раствор после кипячения содержит образовавшийся  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  и неразложившийся  $\text{NaHCO}_3$ . Обозначим количество вещества  $\text{NaHCO}_3$ , вступившего в реакцию за  $x$  моль, тогда количество вещества образовавшегося  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  равно  $0.5x$  моль, а количество вещества оставшегося  $\text{NaHCO}_3$   $(0.1153 - x)$  моль.

3. Водный раствор после кипячения разделяют на две части, причем масса одной в девять раз больше массы другой. В меньшей порции содержится  $0.05x$  моль  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  и  $(0.1153 - 0.1x)$  моль  $\text{NaHCO}_3$ . Эту порцию раствора обрабатывают избытком кислоты:



Количество вещества углекислого газа, выделившегося в результате обработки меньшей порции раствора кислотой равно:

$$n(\text{CO}_2) = n_2(\text{CO}_2) + n_3(\text{CO}_2) = n_{1/10}(\text{NaHCO}_3) + n_{1/10}(\text{Na}_2\text{CO}_3) = (0.1153 - 0.1x) + 0.05x = [0.1153 - 0.05x] \text{ моль}$$

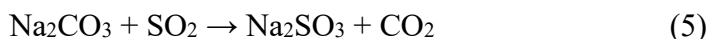
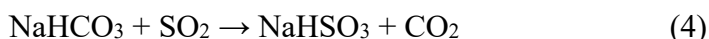
С другой стороны, находим  $n(\text{CO}_2) = 0.182/22.4 = 0.00813$  моль.

$$[0.1153 - 0.05x] = 0.00813$$

$$x = 0.068 \text{ моль.}$$

4. В большей порции раствора (9/10) перед пропусканием  $\text{SO}_2$  содержится  $9 \cdot 0.05x = 9 \cdot 0.05 \cdot 0.068 = 0.0306$  моль  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  и  $9 \cdot (0.1153 - 0.1x) = 9 \cdot (0.1153 - 0.1 \cdot 0.068) = 0.04257$  моль  $\text{NaHCO}_3$ .

Через этот раствор пропустили  $2.24/22.4 = 0.1$  моль  $\text{SO}_2$ :



Из уравнений реакций (4) и (5) видно, что при пропускании  $\text{SO}_2$  через раствор образуется  $0.04257$  моль  $\text{NaHSO}_3$  и  $0.0306$  моль  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ , при этом расходуется  $0.04257 + 0.0306 = 0.07317$  моль из  $0.1$  моль  $\text{SO}_2$ .

Оставшиеся  $0.1 - 0.07317 = 0.02683$  моль  $\text{SO}_2$  вступают в реакцию:



В результате образуется  $0.05366$  моль  $\text{NaHSO}_3$  и расходуется  $0.02683$  моль  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ .

После протекания реакций (4) – (6) в растворе находится  $0.04257 + 0.05366 = 0.09623$  моль  $\text{NaHSO}_3$  и  $0.0306 - 0.02683 = 0.00377$  моль  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ .

#### Примечание:

1. за составление уравнений химических реакций – 12 баллов (по 2 балла за каждое уравнение)

2. за расчет  $x$  – количества вещества  $\text{NaHCO}_3$ , вступившего в реакцию – 8 баллов

3. за определение состава раствора после протекания реакций (4) – (6) – 10 баллов.

**Итого: 30 баллов**