

**А.Э. Антошин**

# **ХИМИЯ**

## **РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ**

**СДАЁМ  
БЕЗ  
ПРОБЛЕМ!**

**ЕГЭ**  
**• 2021 •**

**ЗАДАЧИ С ПОДРОБНЫМИ РЕШЕНИЯМИ И ОТВЕТАМИ**

**КРАТКИЙ СПРАВОЧНЫЙ МАТЕРИАЛ**



СДАЁМ  
БЕЗ ПРОБЛЕМ!



А.Э. Антошин

# **ХИМИЯ**

## **РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ**



Москва  
2020

УДК 373.5:54

ББК 24я721

А72

Об авторе:

А. Э. Антошин — кандидат химических наук

**Антошин, Андрей Эдуардович.**

**А72** ЕГЭ 2021. Химия : решение задач / А.Э. Антошин. — Москва : Эксмо, 2020. — 176 с. — (ЕГЭ. Сдаем без проблем).

ISBN 978-5-04-112812-8

В пособии подробно разобраны решения всех типов задач базового, повышенного и высокого уровней сложности в соответствии с перечнем элементов содержания, проверяемых на ЕГЭ по химии. Регулярная работа с данным пособием позволит учащимся научиться быстро и без ошибок решать задачи по химии разных уровней сложности.

Издание окажет неоценимую помощь учащимся при подготовке к ЕГЭ по химии, а также может быть использовано учителями при организации учебного процесса.

УДК 373.5:54

ББК 24я721

© Антошин А. Э., 2020

ISBN 978-5-04-112812-8

© Оформление. ООО «Издательство «Эксмо», 2020

Все права защищены. Книга или любая ее часть не может быть скопирована, воспроизведена в электронной или механической форме, в виде фотокопии, записи в память ЭВМ, воспроизведена или каким-либо иным способом, а также использована в любой информационной системе без получения разрешения от издателя. Копирование, воспроизведение и иное использование книги или ее части без согласия издателя является незаконным и влечет уголовную, административную и гражданскую ответственность.

Справочное издание

анықтамалық баспа

ЕГЭ. СДАЕМ БЕЗ ПРОБЛЕМ

**Антошин Андрей Эдуардович**

**ЕГЭ 2021**

**ХИМИЯ**

**Решение задач**

(орыс тілінде)

Ответственный редактор *А. Жилинская*

Ведущий редактор *Т. Судакова*

Художественный редактор *Г. Златогоров*

Технический редактор *Л. Зотова*

Компьютерная верстка *А. Григорьев*

Корректор *М. Сиротникова*

ООО «Издательство «Эксмо»  
123308, Россия, Москва, ул. Зорге, д. 1. Тел.: 8 (495) 411-68-86.

Home page: [www.eksmo.ru](http://www.eksmo.ru) E-mail: [info@eksmo.ru](mailto:info@eksmo.ru)

Өндіруші: «ЭКМО» АҚБ Баспасы, 123308, Мәскеу, Ресей, Зорге көшесі, 1 үй.

Тел.: 8 (495) 411-68-86.

Home page: [www.eksmo.ru](http://www.eksmo.ru) E-mail: [info@eksmo.ru](mailto:info@eksmo.ru)

Tauar белгісі: «Эксмо»

Интернет-магазин: [www.book24.ru](http://www.book24.ru)

Интернет-магазин: [www.book24.kz](http://www.book24.kz)

Импортер в Республику Казахстан ТОО «РДЦ-Алматы».

Қазақстан Республикасында импорттауды «РДЦ-Алматы» ЖШС.

Дистрибутор и представитель по приему претензий на продукцию,

в Республике Казахстан: ТОО «РДЦ-Алматы».

Қазақстан Республикасында дистрибутор және өнім бойынша арыз-талпаттарды

қбылдаушының өкілі «РДЦ-Алматы» ЖШС.

Алматы қ., Достарский кш., 3-я, литер Б, офис 1.

Тел.: 8 (727) 251-59-90/91/92; E-mail: [RDC-Almaty@eksmo.kz](mailto:RDC-Almaty@eksmo.kz)

Өнімнің жарамдылық мерзімі шектелмеген.

Сертификация туралы ақпарат: [www.eksmo.ru/certification](http://www.eksmo.ru/certification)

Свидетельство о подтверждении соответствия издания согласно законодательству РФ

о техническом регулировании можно получить на сайте Издательства «Эксмо»

[www.eksmo.ru/certification](http://www.eksmo.ru/certification)

Өндірген мемлекет: Ресей. Сертификация қарастырылған

Дата изготовления / Подписано в печать 20.07.2020. Формат 60×90<sup>1/16</sup>.

Гарнитура «SchoolBook». Печать офсетная. Усл. печ. л. 11,0.

Тираж экз. Заказ №

ISBN 978-5-04-112812-8



9 785041 128128 >



Официальный  
интернет-магазин  
издательской группы  
“ЭКМО-АСТ”

**book 24.ru**

ПРИСОЕДИНЯЙТЕСЬ К НАМ!



[eksmo.ru](http://eksmo.ru)

МЫ В СОЦСЕТЯХ:

[eksmolive](#)

[eksmo](#)

[eksmolive](#)

[eksmo.ru](#)

[eksmo\\_live](#)

[eksmo\\_live](#)

## ОТ АВТОРА

Эта книга адресована прежде всего школьникам старших классов и предназначена для подготовки к единому государственному экзамену (ЕГЭ) по химии.

В ней подробно разобраны решения всех типов задач базового, повышенного и высокого уровней сложности в соответствии с перечнем элементов содержания, проверяемых на ЕГЭ по химии. К каждому типу задач дается краткий теоретический материал, на основании которого проводятся соответствующие расчеты.

В десятое, юбилейное, издание книги внесены дополнения по решению задач на кристаллогидраты и пластины.

Хочется подчеркнуть, что данное пособие не подменяет существующие учебники и учебные пособия (в первую очередь рекомендованные Рособрнадзором и ФИПИ), а лишь дополняет их, поэтому наряду с данной книгой рекомендую пользоваться литературой, список которой приведен в конце книги.

За постоянную практическую помощь, поддержку и внимание огромное спасибо Т. В. Киселевой. Отдельная благодарность моим друзьям и коллегам: профессорам А. И. Кочергину, А. С. Шестакову, И. В. Рыбальченко, С. А. Лермонтову, К. В. Тугушову, М. В. Кузнецову, доцентам Ю. Н. Рейхову, В. Ф. Таранченко, а также Ю. А. Ихалайнену и А. П. Васильеву.

Я буду признателен читателям за любые замечания и пожелания, которые можно присылать по электронной почте [veis444@mail.ru](mailto:veis444@mail.ru).

*А. Э. Антошин*

# **ЗАДАНИЯ БАЗОВОГО И ПОВЫШЕННОГО УРОВНЕЙ СЛОЖНОСТИ**

## **ВЫЧИСЛЕНИЕ МАССЫ РАСТВОРЕННОГО ВЕЩЕСТВА, СОДЕРЖАЩЕГОСЯ В ОПРЕДЕЛЕННОЙ МАССЕ РАСТВОРА С ИЗВЕСТНОЙ МАССОВОЙ ДОЛЕЙ; ВЫЧИСЛЕНИЕ МАССОВОЙ ДОЛИ ВЕЩЕСТВА В РАСТВОРЕ**

*Массовой долей* называют отношение массы данного компонента  $m(X)$  к массе всего раствора  $M(p-ра)$ . Массовую долю обозначают символом  $\omega$  (омега) и выражают в долях единицы или в процентах:

$$\omega(X) = m(X)/M(p-ра) \text{ (в долях единицы);}$$

$$\omega(X) = m(X) \cdot 100/M(p-ра) \text{ (в процентах).}$$

Масса раствора, его объем и плотность связаны формулой:

$$M(p-ра) = \rho \cdot V.$$

Масса чистого вещества в растворе может быть вычислена по формуле:

$$m(X) = \omega(X) \cdot \rho \cdot V,$$

где  $\omega(X)$  — массовая доля вещества  $X$  в растворе в долях единицы;

$\rho$  — плотность раствора в г/мл или г/см<sup>3</sup>;

$V$  — объем раствора в мл или см<sup>3</sup>.

*Молярной концентрацией* называют количество растворенного вещества в 1 л раствора. Ее обозначают символом  $c(X)$  и измеряют в моль/л:

$$c(X) = n(X)/V = m(X)/M(X) \cdot V.$$

В этой формуле  $n(X)$  — количество вещества  $X$ , содержащегося в растворе,  $M(X)$  — молярная масса вещества  $X$ ;  $V$  — объем раствора, л.

Молярная концентрация (моль/л) и массовая доля растворенного вещества (выраженная в %) связаны между собой уравнениями:

$$\omega(X) = \frac{c(X) \cdot M(X)}{10 \cdot \rho},$$

$$c(X) = \frac{10 \cdot \omega(X) \cdot \rho}{M(X)},$$

где  $M(X)$  — молярная масса вещества;  $\rho$  — плотность раствора, г/мл.

Рассмотрим несколько типовых задач.

1. Определить массу бромида натрия, содержащегося в 300 г 15%-ного раствора.

Решение. Массу бромида натрия определим по формуле:

$$m(\text{NaBr}) = \omega \cdot M(\text{р-ра})/100; m(\text{NaBr}) = 15 \cdot 300/100 = 45 \text{ г.}$$

Ответ: 45 г.

2. Масса нитрата калия, которую нужно растворить в 200 г воды для получения 8%-ного раствора, равна \_\_\_\_\_ г. (Ответ округлите до целого числа.)

Решение. Пусть  $m(\text{KNO}_3) = x$  г, тогда  $M(\text{р-ра}) = (200 + x)$  г. Массовая доля нитрата калия в растворе:

$$\omega(\text{KNO}_3) = x/(200 + x) = 0,08;$$

$x = 16 + 0,08x$ ;  $0,92x = 16$ ;  $x = 17,4$ . После округления  $x = 17$  г.

Ответ: 17 г.

3. Масса хлорида кальция, которую нужно добавить к 400 г 5%-ного раствора этой же соли, чтобы удвоить ее массовую долю, равна \_\_\_\_\_ г. (Ответ запишите с точностью до десятых.)

Решение. Масса  $\text{CaCl}_2$  в исходном растворе равна:

$$m(\text{CaCl}_2) = \omega \cdot M(\text{р-ра}); m(\text{CaCl}_2) = 0,05 \cdot 400 = 20 \text{ г.}$$

Массовая доля  $\text{CaCl}_2$  в конечном растворе равна  $\omega_1 = 0,05 \cdot 2 = 0,1$ .

Пусть масса  $\text{CaCl}_2$ , которую нужно добавить в исходный раствор, равна  $x$  г, тогда масса конечного раствора  $M_1(\text{р-ра}) = (400 + x)$  г. Массовая доля  $\text{CaCl}_2$  в конечном растворе:

$$\omega_1 = \frac{20 + x}{400 + x} = 0,1.$$

Решив это уравнение, получим  $x = 22,2$  г.

Ответ: 22,2 г.

4. Масса спирта, которую нужно испарить из 120 г 2%-ного спиртового раствора йода, чтобы повысить его концентрацию до 5%, равна \_\_\_\_\_ г. (Ответ запишите с точностью до десятых.)

Решение. Определим массу йода в исходном растворе:

$$m(\text{I}_2) = \omega \cdot M(\text{р-ра}); m(\text{I}_2) = 0,02 \cdot 120 = 2,4 \text{ г.}$$

Пусть масса спирта, который нужно испарить из раствора, равна  $x$  г, тогда по условию задачи:

$$\frac{2,4}{120 - x} = 0,05.$$

Решив это уравнение, получим  $x = 72$  г.

Ответ:  $x = 72$  г.

5. Масса воды, которую нужно добавить к 200 г 20%-ного раствора бромид натрия, чтобы получить 5%-ный раствор, равна \_\_\_\_\_ г. (Ответ округлите до целого числа.)

Решение. Определим массу бромид натрия в исходном растворе:

$$m(\text{NaBr}) = \omega \cdot M(\text{р-ра}); m(\text{NaBr}) = 0,2 \cdot 200 = 40 \text{ г.}$$

Пусть масса воды, которую нужно добавить для разбавления раствора, равна  $x$  г, тогда по условию задачи:

$$\frac{40}{200+x} = 0,05.$$

Отсюда получим  $x = 600$  г.

О т в е т: 600 г.

6. Массовая доля сульфата натрия в растворе, полученном при смешении 200 г 5%-ного и 400 г 10%-ного растворов  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , равна \_\_\_\_\_ %. (Ответ округлите до десятых.)

Р е ш е н и е. Определим массу сульфата натрия в первом исходном растворе:

$$m_1(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 0,05 \cdot 200 = 10 \text{ г.}$$

Определим массу сульфата натрия во втором исходном растворе:

$$m_2(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 0,1 \cdot 400 = 40 \text{ г.}$$

Определим массу сульфата натрия в конечном растворе:

$$m(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 10 + 40 = 50 \text{ г.}$$

Определим массу конечного раствора:

$$M(\text{р-ра}) = 200 + 400 = 600 \text{ г.}$$

Определим массовую долю  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  в конечном растворе:

$$\omega(\text{Na}_2\text{SO}_4) = \frac{m(\text{Na}_2\text{SO}_4)}{M(\text{р-ра})};$$

$$\omega(\text{Na}_2\text{SO}_4) = \frac{50}{600} = 8,3\%.$$

О т в е т: 8,3%.



7. Масса бромида натрия, которую необходимо прибавить к 140 г 5%-ного раствора, чтобы получить 10%-ный раствор, равна \_\_\_\_\_ г. (Ответ округлите до десятых.)

Р е ш е н и е. Определим массу NaBr в исходном растворе:

$$m(\text{NaBr}) = 140 \cdot 0,05 = 7 \text{ г.}$$

Пусть масса бромида натрия, который нужно прибавить, равна  $x$  г, тогда:

$$0,1 = \frac{7+x}{140+x}.$$

Решив это уравнение, получим:  $x = 7,8$  г.

О т в е т: 7,8 г.

8. Массовая доля нитрата калия в растворе, полученном при смешении 250 г 4%-ного раствора с 10 г этого же вещества, равна \_\_\_\_\_ %. (Ответ округлите до целых %.)

Р е ш е н и е. Определим массу  $\text{KNO}_3$  в исходном растворе:

$$m(\text{KNO}_3) = 0,04 \cdot 250 = 10 \text{ г.}$$

Массовая доля нитрата калия в конечном растворе равна:

$$\omega(\text{KNO}_3) = \frac{10+10}{250+10} = 7,7\%.$$

С учетом округления получим  $\omega(\text{KNO}_3) = 8\%$ .

О т в е т: 8%.

9. Концентрация глюкозы в растворе, полученном при смешении 150 г 10%-ного раствора и 50 г 20%-ного раствора, равна \_\_\_\_\_ %. (Ответ округлите до целого числа.)

Р е ш е н и е. Определим массу глюкозы в первом и втором исходных растворах:

$$m(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = \omega(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) \cdot M(\text{р-ра});$$

$$m_1(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 0,1 \cdot 150 = 15 \text{ г};$$

$$m_2(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 0,2 \cdot 50 = 10 \text{ г.}$$

Общая масса глюкозы в конечном растворе:

$$m_3(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 15 + 10 = 25 \text{ г.}$$

Общая масса конечного раствора:

$$M(\text{р-ра}) = 150 + 50 = 200 \text{ г.}$$

Концентрация глюкозы в конечном растворе:

$$\omega = \frac{m(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6)}{M(\text{р-ра})}; \quad \omega = \frac{25}{200} \cdot 100 = 12,5 \approx 13.$$

О т в е т: 13%.

- 10.** Масса 50%-ной азотной кислоты, которую необходимо взять для приготовления 200 г 10%-ного раствора, равна \_\_\_\_\_ г. (Ответ округлите до целого числа.)

Р е ш е н и е. Определим массу чистой кислоты в конечном растворе:

$$m(\text{HNO}_3) = \omega \cdot M(\text{р-ра}); \quad m(\text{HNO}_3) = 0,1 \cdot 200 = 20 \text{ г.}$$

Определим массу 50%-ного раствора азотной кислоты, в котором содержится 20 г чистого вещества:

$$M(\text{р-ра}) = \frac{m(\text{HNO}_3)}{\omega};$$
$$M(\text{р-ра}) = \frac{20}{0,5} = 40 \text{ г.}$$

О т в е т: 40 г.

- 11.** Рассчитать массы железного купороса и воды, необходимые для приготовления 300 г 5%-ного раствора сульфата железа (II). Определить его молярную концентрацию, если плотность водного раствора равна 1,015 г/см<sup>3</sup>.

Р е ш е н и е. Формула железного купороса  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , т. е. он представляет собой кристаллогидрат — вещество, состоящее из соли и нескольких, в данном случае семи, молекул кристаллизационной воды.

Определим массу безводного сульфата железа (II):

$$m(\text{FeSO}_4) = \omega \cdot M(\text{р-ра})/100 = 5 \cdot 300/100 = 15 \text{ г.}$$

Рассчитав молярные массы  $\text{FeSO}_4$  (152 г/моль) и  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  (278 г/моль), вычислим массу кристаллогидрата:

$$m(\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}) = 15 \cdot 278 / 152 = 27,4 \text{ г.}$$

Масса воды:  $300 - 27,4 = 272,6 \text{ г.}$

Определим молярную концентрацию раствора:

$$c(\text{FeSO}_4) = m(\text{FeSO}_4) / (M(\text{FeSO}_4) \cdot V); V = M(p-pa) / \rho;$$

$$c(\text{FeSO}_4) = m(\text{FeSO}_4) \cdot \rho / (M(\text{FeSO}_4) \cdot M(p-pa));$$

$$c(\text{FeSO}_4) = (15 \cdot 1,015 / (152 \cdot 0,3)) = 0,33 \text{ моль/л.}$$

Ответ: 0,33 моль/л.

12. Массовая доля хлороводорода в растворе, полученном при растворении 11,2 л  $\text{HCl}$  (н.у.) в 100 г воды, равна \_\_\_\_\_ %. (Ответ округлите до целого числа.)

Решение. Определим массу  $\text{HCl}$ :

$$m(\text{HCl}) = \frac{V(\text{HCl})}{V_A} \cdot M(\text{HCl});$$

$$m(\text{HCl}) = \frac{11,2}{22,4} \cdot 36,5 = 18,25 \text{ г.}$$

Определим массу раствора:

$$M(p-pa) = 100 + 18,25 = 118,25 \text{ г.}$$

Определим процентное содержание  $\text{HCl}$ :

$$\omega(\text{HCl}) = \frac{18,25 \cdot 100}{118,25} = 15,4\%.$$

Округлив до целого числа, получим 15%.

Ответ: 15%.

13. Растворимость аммиака в воде при н.у. равна 652 объема на 1 объем воды. Определите его процентную концентрацию при этих условиях. (Ответ округлите до целого числа.)

Решение. Для расчетов выбираем объем воды 100 мл, тогда его масса будет равна 100 г, а объем аммиака  $100 \cdot 652 / 1000 = 65,2 \text{ л.}$

Определим массу аммиака:

$$m(\text{NH}_3) = \frac{V(\text{NH}_3)}{V_A} \cdot M(\text{NH}_3);$$

$$m(\text{NH}_3) = \frac{65,2 \cdot 17}{22,4} = 49,5 \text{ г.}$$

Определим массу раствора:

$$M(\text{р-ра}) = 100 + 49,5 = 149,5 \text{ г.}$$

Определим процентную концентрацию  $\text{NH}_3$ :

$$\omega(\text{NH}_3) = \frac{49,5 \cdot 100}{149,5} = 33,1\%.$$

С учетом округления 33%.

О т в е т: 33%.

- 14.** К 200 г 8%-ного раствора нитрата калия добавили 5 г этой же соли и 5 г воды. Определите массовую долю соли в конечном растворе.

**Решение.** Определим массу соли в исходном растворе. Она равна  $m(\text{KNO}_3) = 0,08 \cdot 200 = 16 \text{ г}$ . Определим массу соли в конечном растворе. Она равна  $16 + 5 = 21 \text{ г}$ . Масса конечного раствора составит:  $M(\text{р-ра}) = 200 + 5 + 5 = 210 \text{ г}$ . Тогда  $\omega(\text{KNO}_3) = (21/210) \cdot 100 = 10\%$ .

О т в е т: 10%.

- 15.** Из 200 г раствора с массовой долей нитрата калия 10% выпарили 50 г воды. Масса воды в полученном растворе равна \_\_\_\_\_ г.

**Решение.** Определим массу нитрата калия и воды в исходном растворе:

$$m(\text{KNO}_3) = \omega \cdot M(\text{р-ра}); m(\text{KNO}_3) = 0,1 \cdot 200 = 20 \text{ г.}$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 200 - 20 = 180 \text{ г.}$$

Тогда масса воды в конечном растворе равна  $180 - 50 = 130$  г.

О т в е т: 130 г.

**16.** В 150 г раствора хлорида калия с массовой долей 12% растворили 8 г этой же соли. Масса хлорида калия в полученном растворе равна \_\_\_\_\_ г.

Р е ш е н и е. Определим массу хлорида калия в исходном растворе:

$$m(\text{KCl}) = \omega \cdot M(\text{р-ра}); m(\text{KCl}) = 0,12 \cdot 150 = 18 \text{ г.}$$

Тогда масса хлорида калия в конечном растворе равна:  $18 + 8 = 26$  г.

О т в е т: 26 г.

**17.** К 250 г 5%-ного раствора хлорида натрия добавили 10 г этой же соли и выпарили 30 г воды. Массовая доля хлорида натрия в конечном растворе равна \_\_\_\_\_ %.

Р е ш е н и е. Определим массу хлорида натрия в исходном растворе:

$$m(\text{NaCl}) = \omega \cdot M(\text{р-ра}); m(\text{NaCl}) = 0,05 \cdot 250 = 12,5 \text{ г.}$$

Определим массу хлорида натрия в конечном растворе:

$$m_1(\text{NaCl}) = 12,5 + 10 = 22,5 \text{ г.}$$

Определим массу конечного раствора и массовую долю хлорида натрия в нем:  $M(\text{р-ра}) = 250 + 10 - 30 = 230$  г.  
 $\omega(\text{NaCl}) = 22,5/230 = 9,8\%$ .

О т в е т: 9,8%.

**18.** К 300 г водного раствора этанола с массовой долей спирта 30% добавили 150 мл 98%-ного этанола (плотность 0,8 г/мл). Определите массовую долю спирта в полученном растворе.

**Решение.** Определим массу спирта в первом исходном растворе:

$$m_1 = \omega \cdot M(\text{p-ра}); m_1 = 0,3 \cdot 300 = 90 \text{ г.}$$

Определим массу второго раствора спирта и массу чистого спирта в нем:

$$M(\text{p-ра}) = \rho \cdot V; M_2(\text{p-ра}) = 0,8 \cdot 150 = 120 \text{ г;}$$

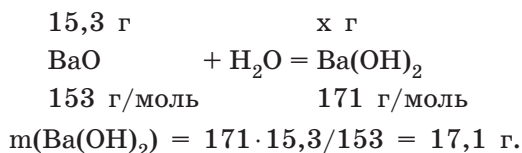
$$m_2 = 0,98 \cdot 120 = 117,6 \text{ г.}$$

Тогда масса конечного раствора равна  $M_3(\text{p-ра}) = 300 + 120 = 420 \text{ г}$ , а масса спирта в нем равна  $90 + 117,6 = 207,6 \text{ г}$ . Массовая доля спирта в конечном растворе  $\omega_3 = 207,6/420 = 49,4\%$ .

**Ответ:** 49,4%.

**19.** Массовая доля гидроксида бария в растворе, полученном при растворении 15,3 г оксида бария в 200 г воды, равна \_\_\_\_\_ г.

**Решение.** Составляем уравнение химической реакции и определим массу образовавшегося гидроксида бария:



По закону сохранения массы вещества масса конечного раствора равна  $200 + 15,3 = 215,3 \text{ г}$ . Тогда  $\omega(\text{Ba(OH)}_2) = 17,1 \cdot 100 / 215,3 = 7,9\%$ .

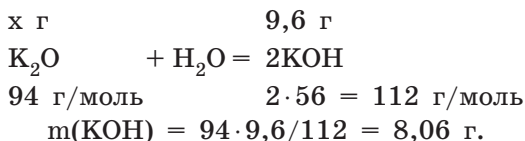
**Ответ:** 7,9%.

**20.** Какую массу оксида калия необходимо взять для приготовления 120 г 8%-ного раствора KOH?

**Решение.** Определим массу гидроксида калия в конечном растворе:

$$m(\text{K}_2\text{O}) = \omega \cdot M(\text{p-ра}); m(\text{K}_2\text{O}) = 0,08 \cdot 120 = 9,6 \text{ г.}$$

Составляем уравнение химической реакции и определим массу исходного оксида калия:



О т в е т: 8,06 г.

21. Молярная концентрация 30%-ного раствора серной кислоты (плотность 1,21 г/мл) равна \_\_\_\_\_ моль/л.  
(Ответ запишите с точностью до сотых.)

Р е ш е н и е. Воспользуемся формулой:

$$\begin{aligned}
 c(\text{H}_2\text{SO}_4) &= \frac{10 \cdot \omega(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot \rho}{M(\text{H}_2\text{SO}_4)}, \\
 c(\text{H}_2\text{SO}_4) &= \frac{10 \cdot 30 \cdot 1,21}{98} = 3,70 \text{ моль/л.}
 \end{aligned}$$

О т в е т: 3,70 моль/л.

## РАСЧЕТЫ МАССЫ ВЕЩЕСТВА ИЛИ ОБЪЕМА ГАЗОВ ПО ИЗВЕСТНОМУ КОЛИЧЕСТВУ ВЕЩЕСТВА, МАССЕ ИЛИ ОБЪЕМУ ОДНОГО ИЗ УЧАСТВУЮЩИХ В РЕАКЦИИ ВЕЩЕСТВ

Основой для проведения количественных расчетов в химии является **закон сохранения массы**. Согласно этому закону *масса реагентов равна массе продуктов реакции*.

Отсюда следует, что для любой химической реакции массы реагентов и продуктов реакции относятся между собой как молярные массы веществ, умноженные на их стехиометрические коэффициенты.

Для решения расчетных задач по химическим уравнениям можно использовать два эквивалентных способа: через количество вещества или через пропорцию. Предметом

оценки выполнения таких заданий является последовательность рассуждений при составлении ответа и его правильность.

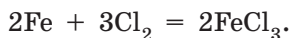
Для определения массы (или количества вещества) продуктов реакции или исходных веществ по уравнениям химических реакций вначале составляют уравнение химической реакции и устанавливают стехиометрические коэффициенты; затем определяют молярную массу, массу и количество вещества известных реагентов химической реакции; составляют и решают пропорцию, в которую в зависимости от условий задачи вводят числовые значения величин: молярные массы, массы, количества веществ или их объемы (для газов).

При этом в одном столбце пропорций должны находиться одинаковые характеристики вещества с одной и той же размерностью.

Рассмотрим несколько типовых задач.

1. Масса железа, вступившего в реакцию с 6 моль хлора, равна \_\_\_\_\_ г. (Ответ запишите с точностью до целого числа.)

Решение. Составляем уравнение химической реакции:



Из этого уравнения следует, что 3 моль  $\text{Cl}_2$  реагируют с 2 моль  $\text{Fe}$ , т. е.:

$$3 \text{ моль } (\text{Cl}_2) \text{ — } 2 \text{ моль } (\text{Fe});$$

$$6 \text{ моль } (\text{Cl}_2) \text{ — } x \text{ моль } (\text{Fe});$$

$$x = 6 \cdot 2 / 3 = 4 \text{ моль}.$$

Определяем массу железа:

$$m(\text{Fe}) = n(\text{Fe}) \cdot A(\text{Fe}); m(\text{Fe}) = 4 \cdot 56 = 224 \text{ г}.$$

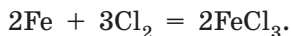
Ответ: 224 г железа.



2. Масса железа, вступившего в реакцию с порцией хлора, содержащей в своем составе  $3,07 \cdot 10^{25}$  электрона, равна \_\_\_\_\_ г. (Ответ запишите с точностью до целого числа.)

Решение. Молекула  $\text{Cl}_2$  состоит из двух атомов хлора. Порядковый номер хлора в Периодической системе — 17, следовательно, в одной молекуле содержится  $2 \cdot 17 = 34$  электрона, а в 1 моль —  $34 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} = 2,05 \cdot 10^{25}$  электронов.

Составляем уравнение химической реакции:



Определяем количество вещества  $\text{Cl}_2$ , вступившего в реакцию:

$$n(\text{Cl}_2) = 3,07 \cdot 10^{25} / 2,05 \cdot 10^{25} = 1,5 \text{ моль}.$$

Определяем количество вещества железа, вступившего в реакцию:

$$3 \text{ моль } (\text{Cl}_2) \text{ — } 2 \text{ моль } (\text{Fe});$$

$$1,5 \text{ моль } (\text{Cl}_2) \text{ — } x \text{ моль } (\text{Fe});$$

$$x = 1,5 \cdot 2/3 = 1 \text{ моль}.$$

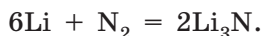
Определяем массу железа:

$$m(\text{Fe}) = n(\text{Fe}) \cdot A(\text{Fe}); m(\text{Fe}) = 1 \cdot 56 = 56 \text{ г}.$$

Ответ: 56 г железа.

3. Масса нитрида лития, образовавшегося в результате его реакции с азотом объемом 8,96 л, равна \_\_\_\_\_ г. (Ответ запишите с точностью до целого числа.)

Решение. Составляем уравнение химической реакции:



Определяем количество вещества азота, вступившего в реакцию:

$$n(\text{N}_2) = V(\text{N}_2) / V_A; n(\text{N}_2) = 8,96 / 22,4 = 0,4 \text{ моль}.$$

Из уравнения реакции следует, что из 1 моль  $N_2$  образуется 2 моль  $Li_3N$ , т. е.:

$$1 \text{ моль } (N_2) \text{ — } 2 \text{ моль } (Li_3N);$$

$$0,4 \text{ моль } (N_2) \text{ — } x \text{ моль } (Li_3N);$$

$$x = 0,4 \cdot 2/1 = 0,8 \text{ моль.}$$

Определим массу  $Li_3N$ :

$$m(Li_3N) = n(Li_3N) \cdot M(Li_3N);$$

$$m(Li_3N) = 0,8 \cdot 35 = 28 \text{ г.}$$

О т в е т: 28 г  $Li_3N$ .

4. Объем углекислого газа, образовавшегося в результате разложения карбоната магния количеством вещества 4 моль избытком соляной кислоты, равен \_\_\_\_\_ л. (Ответ округлите до целого числа.)

Р е ш е н и е. Составляем уравнение химической реакции:



Из этого уравнения следует, что количество вещества углекислого газа и карбоната магния равны между собой, т. е.  $n(CO_2) = 4$  моль.

Определим  $V(CO_2)$ :

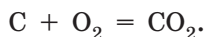
$$V(CO_2) = n(CO_2) \cdot V_A; V(CO_2) = 4 \cdot 22,4 = 89,6 \text{ л.}$$

С учетом округления в большую сторону  $V(CO_2) = 90$  л.

О т в е т: 90 л  $CO_2$ .

5. Объем углекислого газа, образовавшегося при сгорании 60 кг каменного угля, равен \_\_\_\_\_ м<sup>3</sup>. (Ответ запишите с точностью до целых.)

Решение. Составляем уравнение химической реакции:



Из этого уравнения следует, что  $n(\text{CO}_2) = n(\text{C})$ . Вычисляем  $n(\text{C})$ :

$$n(\text{C}) = 6 \cdot 10^4 / 12 = 5 \cdot 10^3 \text{ моль.}$$

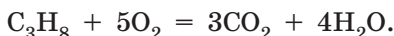
Определяем объем  $\text{CO}_2$ :

$$V(\text{CO}_2) = 5 \cdot 10^3 \cdot 22,4 = 1,12 \cdot 10^5 \text{ л или } 112 \text{ м}^3.$$

Ответ:  $112 \text{ м}^3$ .

6. Объем воздуха, необходимый для сжигания пропана объемом  $500 \text{ л}$ , равен \_\_\_\_\_  $\text{м}^3$ . (Ответ округлите до целого числа.)

Решение. Составляем уравнение химической реакции:



Из этого уравнения следует, что  $V(\text{O}_2) = 5V(\text{C}_3\text{H}_8)$ .

Определяем объем кислорода, вступившего в реакцию:

$$V(\text{O}_2) = 5 \cdot 500 = 2500 \text{ л.}$$

Определяем объем воздуха:

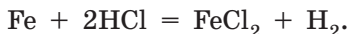
$$\begin{aligned} V_{\text{возд.}} &= V(\text{O}_2) / \varphi(\text{O}_2); V_{\text{возд.}} = 2500 / 0,21 = \\ &= 1,19 \cdot 10^4 \text{ л, или } 11,9 \text{ м}^3. \end{aligned}$$

С учетом округления  $V_{\text{возд.}} = 12 \text{ м}^3$ .

Ответ:  $12 \text{ м}^3$  воздуха.

7. Объем водорода, который выделится при растворении  $16,8 \text{ г}$  железа в избытке разбавленной соляной кислоты, равен \_\_\_\_\_ л. (Ответ запишите с точностью до десятых.)

Решение. Составляем уравнение химической реакции:



Определим количество вещества железа:

$$n(\text{Fe}) = m(\text{Fe})/A(\text{Fe}); n(\text{Fe}) = 16,8/56 = 0,3 \text{ моль.}$$

Количество вещества железа и водорода в данном уравнении реакции равны между собой. Следовательно, количество вещества водорода также равно 0,3 моль.

Вычислим объем водорода:

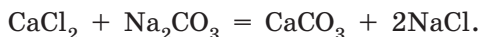
$$V(\text{H}_2) = n(\text{H}_2) \cdot V_A; V(\text{H}_2) = 0,3 \cdot 22,4 = 6,72 \text{ л.}$$

С точностью до десятых: 6,7 л.

Ответ: 6,7 л.

8. Масса осадка, который образуется в результате взаимодействия 40,0 г хлорида кальция с избытком карбоната натрия, равна \_\_\_\_\_ г. (Ответ округлите до целого числа.)

Решение. Составляем уравнение реакции:



Согласно уравнению химической реакции, составим пропорцию и решим ее:

$$111 \text{ г } (\text{CaCl}_2) — 100 \text{ г } (\text{CaCO}_3);$$

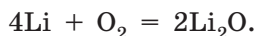
$$40 \text{ г } (\text{CaCl}_2) — x \text{ г } (\text{CaCO}_3);$$

$$x = 40 \cdot 100 / 111 = 36,0 \text{ г.}$$

Ответ: 36 г  $\text{CaCO}_3$ .

9. Масса оксида лития, которую можно получить при окислении 6 моль лития кислородом воздуха, равна \_\_\_\_\_ г.

Решение. Составляем уравнение реакции:



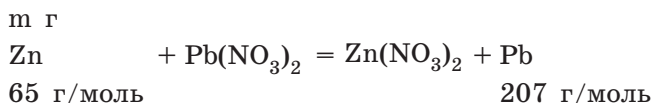
Из этого уравнения следует, что количество вещества оксида лития в два раза меньше, чем количество вещества лития, и равно  $6/2 = 3$  моль.

Определяем массу оксида лития:  $m(\text{Li}_2\text{O}) = 3 \cdot 30 = 90$  г.

Ответ: 90 г.

**10.** Цинковую пластинку массой 90 г погрузили в раствор нитрата свинца (II). Через некоторое время масса пластинки увеличилась до 98,2 г. Определите массу цинка, перешедшего в раствор.

**Решение.** Изменение массы пластинки происходит за счет перехода в раствор атомов цинка и осаждения на ней свинца. Атомная масса свинца 207 г/моль, а атомная масса цинка — 65 г/моль. Составляем уравнение химической реакции:



Если в реакцию вступает 1 моль цинка, то изменение массы  $\Delta m = 207 - 65 = 142$  г. Фактическое изменение массы составило  $98,2 - 90 = 8,2$  г. Тогда масса цинка, перешедшего в раствор, составит:

$$m(\text{Zn}) = \frac{(8,2 \times 65)}{142} = 3,75 \text{ г.}$$

Ответ: 3,75 г.

## РАСЧЕТЫ ОБЪЕМНЫХ ОТНОШЕНИЙ ГАЗОВ ПРИ ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЯХ

Решение этого типа задач основано на знании газовых законов.

**Закон Авогадро:** в равных объемах различных газов при одинаковых условиях содержится одинаковое число молекул.

Следствия из закона Авогадро:

1. Одинаковое число молекул разных газов при одинаковых условиях будет занимать одинаковый объем;

2. При нормальных условиях (н.у.), т. е. при температуре  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $273\text{ K}$ ) и давлении  $1,013 \cdot 10^5\text{ Па}$  (1 атм., 760 мм рт. ст.), моль любого газа занимает объем 22,4 л. Этот объем называют **молярным объемом газа** при н.у. ( $V_M$ ), единица его измерения л/моль.

Молярный объем представляет собой частное от деления объема газа на количество вещества газа:

$$V_M = V(X)/n(X).$$

Плотность газа при нормальных условиях можно определить по формуле:

$$\rho(X) = M(X)/V_M,$$

где  $\rho(X)$  — плотность газа, г/л;  $M(X)$  — молярная масса газа, г/моль;  $V_M$  — молярный объем, л/моль.

При одинаковых внешних условиях плотности газов находятся в таком же соотношении, как и их молекулярные массы. Следовательно, если известны молекулярные массы двух газов, можно вычислить плотность одного газа по отношению к другому газу.

**Относительной плотностью** газа А по газу В,  $D_B(A)$  называют отношение массы определенного объема одного газа к массе такого же объема другого газа в одних и тех же условиях:

$$D_B(A) = M(A)/M(B).$$

**Объемная доля**  $\varphi$  показывает долю объема данного компонента X от общего объема системы V:

$$\varphi(X) = V(X)/V, \text{ или}$$

$$\varphi(X) = V(X) \cdot 100/V, \text{ \%}.$$

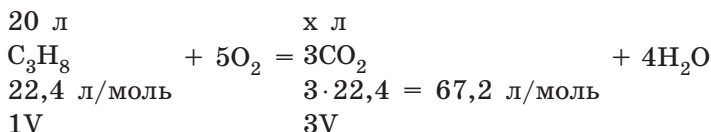
**Закон объемных соотношений** (Ж.-Л. Гей-Люссак, 1808 г.). Объемы газов, участвующих в реакции, относятся друг к другу как небольшие целые числа, равные коэффициентам в уравнении реакции.

Коэффициенты в уравнениях реакций показывают числа объемов реагирующих и образовавшихся газообразных веществ.

Рассмотрим несколько типовых задач.

1. Объем углекислого газа, который образуется при сгорании 20 л пропана в избытке кислорода, равен \_\_\_\_\_ л. (Ответ запишите с точностью до целого числа.)

Решение. Составляем уравнение химической реакции:



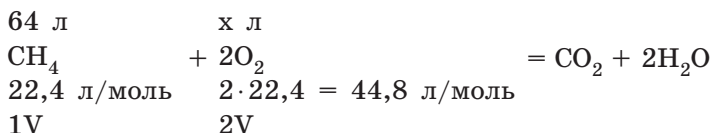
На основании закона объемных отношений вычисляем объем углекислого газа:

$$V(\text{CO}_2) = 3 \cdot V(\text{C}_3\text{H}_8)/1; V(\text{CO}_2) = 3 \cdot 20/1 = 60 \text{ л.}$$

Ответ: 60 л углекислого газа.

2. Объем воздуха, необходимый для сжигания 64 л метана, равен \_\_\_\_\_ л. Ответ запишите с точностью до целого числа.

Решение. Составляем уравнение химической реакции:



На основании закона объемных отношений объем кислорода  $V(\text{O}_2) = 2V(\text{CH}_4)$ . Определяем объем кислорода, вступившего в реакцию:

$$V(\text{O}_2) = 2 \cdot 64 = 128 \text{ л.}$$

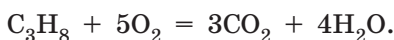
Определяем объем воздуха:

$V_{\text{возд.}} = V(\text{O}_2)/\varphi$ ;  $V_{\text{возд.}} = 128/0,21 = 609,5$  л. С учетом округления  $V_{\text{возд.}} = 610$  л.

О т в е т: 610 л воздуха.

3. Объем воздуха, необходимый для сжигания пропана объемом 500 л, равен \_\_\_\_\_ м<sup>3</sup>. (Ответ округлите до целого числа.)

Р е ш е н и е. Составляем уравнение химической реакции:



Из этого уравнения следует, что  $V(\text{O}_2) = 5V(\text{C}_3\text{H}_8)$ .

Определяем объем кислорода, вступившего в реакцию:

$$V(\text{O}_2) = 5 \cdot 500 = 2500 \text{ л.}$$

Определяем объем воздуха:

$$V_{\text{возд.}} = V(\text{O}_2)/\varphi; V_{\text{возд.}} = 2500/0,21 = 1,19 \cdot 10^4 \text{ л,}$$

или 11,9 м<sup>3</sup>. С учетом округления  $V_{\text{возд.}} = 12$  м<sup>3</sup>.

О т в е т: 12 м<sup>3</sup> воздуха.

4. Объем кислорода, необходимый для каталитического окисления 400 л бутана в уксусную кислоту, равен \_\_\_\_\_ л.

Р е ш е н и е. Составляем уравнение химической реакции:



Из этого уравнения следует, что 2 объема бутана реагируют с 5 объемами кислорода, тогда объем кислорода, необходимый для окисления бутана, равен:

$$V(\text{O}_2) = 400 \cdot 5/2 = 1000 \text{ л.}$$

О т в е т: 1000 л O<sub>2</sub>.



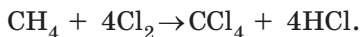
5. Для полного сгорания алкана требуется объем кислорода в два раза больший, чем объем алкана. Определите объем хлороводорода, который образуется при полном хлорировании 22,4 л этого алкана.

Решение. Составляем уравнение реакции горения алкана:



По условию задачи  $1,5n + 0,5 = 2$ , отсюда  $n = 1$ , это метан.

Составляем уравнение хлорирования метана:



Из этого уравнения следует, что  $V(HCl) = 4V(CH_4)$ , следовательно, в результате реакции образуется  $4 \cdot 22,4 = 89,6$  л хлороводорода.

Ответ: 89,6 л HCl.

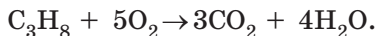
6. Для полного сгорания алкана требуется в 5 раз больший объем кислорода. Какой объем углекислого газа образуется в результате сгорания 44,8 л этого алкана?

Решение. Составляем в общем виде уравнение реакции сгорания алкана:



По условию задачи  $1,5n + 0,5 = 5$ , отсюда  $n = 3$ , это пропан.

Составляем уравнение реакции сгорания пропана:

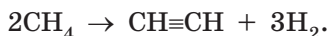


Из этого уравнения следует, что  $V(CO_2)/V(C_3H_8) = 3/1$ . Тогда  $V(CO_2) = 3 \cdot 44,8/1 = 134,4$  л.

Ответ: 134,4 л CO<sub>2</sub>.

7. Определите общий объем газов, которые образуются при частичном крекинге  $1 \text{ м}^3$  метана с образованием ацетилена.

Решение. Составляем уравнение химической реакции:



Из этого уравнения следует, что из 2 объемов метана образуются 4 объема газов — продуктов реакции, т. е. объем газов увеличивается в 2 раза. Отсюда из  $1 \text{ м}^3$  метана образуется  $2 \cdot 1 = 2 \text{ м}^3$  газов.

Ответ:  $2 \text{ м}^3$ .

### РАСЧЕТЫ МАССОВОЙ ИЛИ ОБЪЕМНОЙ ДОЛИ ВЫХОДА ПРОДУКТА РЕАКЦИИ ОТ ТЕОРЕТИЧЕСКИ ВОЗМОЖНОГО

Выходом химической реакции называют отношение практического, т. е. полученного реально, количества продукта реакции к теоретическому, т. е. рассчитанному по уравнению реакции количества продукта. Выход реакции обозначают греческой буквой  $\eta$  (читается «эта») и определяют по формулам:

$$\eta = m_{\text{практ.}}/m_{\text{теор.}} \text{ (массовая доля выхода);}$$

$$\eta = m_{\text{практ.}} \cdot 100/m_{\text{теор.}} \text{ (в процентах);}$$

$$\eta = V_{\text{практ.}}/V_{\text{теор.}} \text{ (объемная доля выхода);}$$

$$\eta = V_{\text{практ.}} \cdot 100/V_{\text{теор.}} \text{ (в процентах).}$$

1. При разложении карбоната магния массой  $33,6 \text{ г}$  получено  $7,2 \text{ л}$  углекислого газа (н.у.). Определите выход реакции, %.

Решение. Составляем уравнение химической реакции:



Вычисляем объем углекислого газа, который должен образоваться теоретически:

84 г ( $\text{MgCO}_3$ ) образуют 22,4 л ( $\text{CO}_2$ ),

33,6 г ( $\text{MgCO}_3$ ) образуют  $x$  л ( $\text{CO}_2$ ),

$$x = 33,6 \cdot 22,4 / 84 = 8,96 \text{ л.}$$

Определим выход реакции:

$$\eta = V_{\text{практ.}} \cdot 100 / V_{\text{теор.}}; \eta = 7,2 \cdot 100 / 8,96 = 80\%.$$

О т в е т: 80%.

2. При каталитическом окислении бутана объемом 224 л получено 800 г уксусной кислоты. Определите выход продукта реакции, %.

Р е ш е н и е. Составляем уравнение химической реакции:



Вычисляем количество вещества бутана:  $n(\text{C}_4\text{H}_{10}) = 224 / 22,4 = 10$  моль.

Из уравнения реакции следует, что  $n(\text{CH}_3\text{COOH}) = 2n(\text{C}_4\text{H}_{10})$ , следовательно,  $n(\text{CH}_3\text{COOH}) = 2 \cdot 10 = 20$  моль.

Вычисляем массу уксусной кислоты, которая должна образоваться теоретически:  $m(\text{CH}_3\text{COOH}) = 20 \cdot 60 = 1200$  г.

Вычисляем выход продукта реакции:

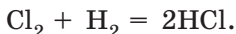
$$\eta(\text{CH}_3\text{COOH}) = m_{\text{практ.}} / m_{\text{теор.}};$$

$$\eta(\text{CH}_3\text{COOH}) = 800 \cdot 100 / 1200 = 66,7\%.$$

О т в е т: 66,7%.

3. 5,0 л хлора (н.у.) вступили в реакцию с избытком водорода, при этом получено 7,6 л хлороводорода (н.у.). Вычислите выход реакции, %.

Р е ш е н и е. Составляем уравнение химической реакции:



Из этого уравнения следует, что  $V(\text{HCl}) = 2V(\text{Cl}_2)$ , т. е.  $V(\text{HCl}) = 2 \cdot 5,0 = 10,0$  л.

Вычисляем выход реакции:

$$\eta = 7,6 \cdot 100 / 10 = 76\%.$$

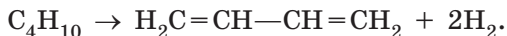
О т в е т: 76%.

4. Реакция образования бутадиена-1,3 из бутана идет с выходом 80%. Какой объем бутана (н.у., м<sup>3</sup>) необходимо взять для получения 1 тонны бутадиена-1,3?

Р е ш е н и е. Определим массу бутадиена-1,3, которая должна образоваться теоретически:

$$m_{\text{теор.}} = m_{\text{практ.}} / \eta; m_{\text{теор.}} = 1000 / 0,8 = 1250 \text{ кг.}$$

Составляем уравнение химической реакции:



Из этого уравнения следует, что  $n(\text{C}_4\text{H}_{10}) = n(\text{C}_4\text{H}_6)$ . Вычисляем  $n(\text{C}_4\text{H}_{10})$ :

$n(\text{C}_4\text{H}_{10}) = 1250 / 54 = 23,15$  кмоль. В этом уравнении 54 кг/моль — молярная масса бутадиена.

Вычисляем объем н-бутана:

$$V(\text{C}_4\text{H}_{10}) = 23,15 \cdot 22,4 = 518,5 \text{ м}^3.$$

О т в е т: 518,5 м<sup>3</sup>.

5. Реакция образования ацетилена из метана прошла с выходом 60%; реакция тримеризации ацетилена с образованием бензола — с выходом 80%. Какой объем метана (н.у.) необходимо взять для получения 200 г бензола?

Р е ш е н и е. *Способ 1.* Составляем уравнения химических реакций:



Вычисляем массу бензола, которая должна образоваться теоретически:

$$m(\text{C}_6\text{H}_6) = 200/0,8 = 250 \text{ г.}$$

Вычисляем объем ацетилен, вступившего в реакцию:

Из 67,2 л ( $\text{C}_2\text{H}_2$ ) образуется 78 г ( $\text{C}_6\text{H}_6$ ).

Из  $x$  л ( $\text{C}_2\text{H}_2$ ) образуется 250 г ( $\text{C}_6\text{H}_6$ ).

$$x = 215,4 \text{ л.}$$

Вычислим объем ацетилен, который теоретически должен образоваться по реакции (1):

$$V(\text{C}_2\text{H}_2) = 215,4/0,6 = 359 \text{ л.}$$

Из уравнения реакции (1) следует, что  $V(\text{CH}_4) = 2V(\text{C}_2\text{H}_2)$ ;  
 $V(\text{CH}_4) = 2 \cdot 359 = 718 \text{ л.}$

*Способ 2.* Вычислим количество вещества бензола:

$$n(\text{C}_6\text{H}_6) = 200/78 = 2,564 \text{ моль.}$$

По совокупности уравнений химических реакций (1) и (2) для образования 1 моль бензола требуется 6 моль метана, т. е.  $n(\text{CH}_4)_{\text{теор.}} = 6 \cdot 2,564 = 15,384 \text{ моль}$ . В этом случае общий выход химических реакций по двум стадиям равен произведению выходов химических реакций по стадиям:

$$\eta_{\text{общ.}} = \eta_1 \cdot \eta_2; \eta_{\text{общ.}} = 0,6 \cdot 0,8 = 0,48.$$

Отсюда  $n(\text{CH}_4)_{\text{теор.}} = 15,384/0,48 = 32,05 \text{ моль}$ ;  $V(\text{CH}_4) = 32,05 \cdot 22,4 = 718 \text{ л.}$

Ответ: 718 л.

6. Вычислите массу железного колчедана, содержащего в своем составе 80%  $\text{FeS}_2$ , необходимую для производства 400 кг 60%-ной серной кислоты. Общий выход реакции получения серной кислоты равен 75%. Ответ округлите до целого числа.

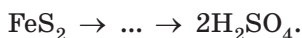
**Решение.** Вычислим массу 100%-ной серной кислоты:

$$m(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,6 \cdot 400 = 240 \text{ кг.}$$

Поскольку образование серной кислоты из колчедана проходит с 75%-ным выходом, то масса серной кислоты, которая должна образоваться теоретически, равна

$$m(\text{H}_2\text{SO}_4)_{\text{теор.}} = 240/0,75 = 320 \text{ кг.}$$

В соответствии с законом сохранения массы вне зависимости от способа получения серной кислоты масса серы в колчедане и серной кислоте будет одинаковой:



$\text{FeS}_2$  имеет молярную массу 120 кг/моль и содержит в своем составе  $2 \cdot 32 = 64$  кг серы;  $\text{H}_2\text{SO}_4$  имеет молярную массу 98 кг/моль и содержит в своем составе 32 кг серы. Отсюда:

$$120 \text{ кг}(\text{FeS}_2) \text{ образуется } 196 \text{ кг}(\text{H}_2\text{SO}_4);$$

$$x \text{ кг}(\text{FeS}_2) \text{ образуется } 320 \text{ кг}(\text{H}_2\text{SO}_4).$$

$x = 120 \cdot 320/196 = 195,9$  кг. С учетом содержания примесей масса колчедана равна  $m = 195,9/0,8 = 244,875$  кг. С учетом округления – 245 кг.

**О т в е т:** 245 кг железного колчедана.

## **РАСЧЕТЫ МАССОВОЙ ДОЛИ (МАССЫ) ХИМИЧЕСКОГО СОЕДИНЕНИЯ В СМЕСИ**

Массовой долей химического соединения в смеси называют отношение массы данного вещества в смеси к массе всей смеси. Ее обозначают символом  $\omega$  (омега) и вычисляют по формуле:

$$\omega(X) = m(X)/M_{\text{смеси}},$$

где  $\omega(X)$  — массовая доля вещества X;

$m(X)$  — его масса;

$M_{\text{смеси}}$  — масса смеси.

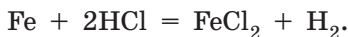
Массовая доля является величиной безразмерной. Ее выражают в долях от единицы или в процентах, если долю от единицы умножить на 100:

$$\omega(X) = m(X) \cdot 100\% / M_{\text{смеси}}.$$

Рассмотрим несколько типовых заданий.

1. Смесь 15 г железных и медных опилок обработали избытком разбавленной соляной кислоты, при этом получили 4,48 л газа (н.у.). Вычислите массовую долю железа в смеси, %.

Решение. С разбавленной соляной кислотой реагирует только железо:



Вычисляем  $n(\text{H}_2)$ :

$$n(\text{H}_2) = 4,48 / 22,4 = 0,2 \text{ моль}.$$

Из уравнения реакции следует, что количество вещества железа и водорода равны между собой. Вычисляем массу железа в смеси:

$$m(\text{Fe}) = 0,2 \cdot 56 = 11,2 \text{ г}.$$

Вычисляем массовую долю железа в смеси:

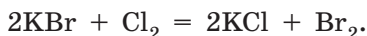
$$\omega(\text{Fe}) = m(\text{Fe}) / M_{\text{смеси}};$$

$$\omega(\text{Fe}) = 11,2 \cdot 100 / 15 = 74,7\%.$$

Ответ: 74,7%.

2. Смесь бромида калия и хлорида калия общей массой 134 г растворили в воде и пропустили через нее избыток хлора. Реакционную массу выпарили и прокалили до постоянной массы, которая оказалась равна 111,75 г. Определите состав исходной смеси.

Решение. Хлорид калия в реакцию с хлором не вступает, бромид калия под действием хлора переходит в хлорид калия:



Из уравнения следует, что если в реакцию вступает 1 моль KBr, то уменьшение массы составит  $119 - 74,5 = 44,5$  г, где 119 и 74,5 — относительные молярные массы бромида и хлорида калия соответственно.

Вычислим, на сколько уменьшилась масса исходной смеси:

$$\Delta(m) = 134 - 111,75 = 22,25 \text{ г.}$$

Это уменьшение обусловлено переходом бромида калия в хлорид калия. Вычислим количество вещества и массу KBr, вступившего в реакцию.

Реагирует 1 моль KBr — уменьшение массы на 44,5 г.

Реагирует  $x$  моль KBr — уменьшение массы на 22,25 г.

$$x = 22,25 \cdot 1 / 44,5 = 0,5 \text{ моль.}$$

$$m(\text{KBr}) = 0,5 \cdot 119 = 59,5 \text{ г.}$$

Определим  $\omega(\text{KBr})$  и  $\omega(\text{KCl})$ :

$$\omega(\text{KBr}) = 59,5 \cdot 100 / 134 = 44,4\%;$$

$$\omega(\text{KCl}) = 100 - 44,4 = 55,6\%.$$

Ответ:  $\omega(\text{KBr})$  44,4%,  $\omega(\text{KCl})$  55,6%.

## **ТЕПЛОВОЙ ЭФФЕКТ ХИМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ. ТЕРМОХИМИЧЕСКИЕ УРАВНЕНИЯ. РАСЧЕТЫ ТЕПЛОВОГО ЭФФЕКТА РЕАКЦИИ**

*Тепловым эффектом* химической реакции называют количество теплоты, выделенное или поглощенное в ходе химической реакции при условии, что температура продуктов реакции равна температуре исходных веществ.



**Термохимическими уравнениями** называют химические уравнения, в которых приводят тепловые эффекты реакций. Тепловой эффект обозначают символом  $Q$  (или  $\Delta H$ ), выражают в джоулях (Дж) или килоджоулях (кДж) и относят к количеству вещества, определенному в уравнении реакции.

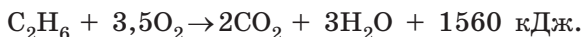
В термохимических уравнениях указывают агрегатное состояние веществ (кристаллическое, жидкое, газообразное и т. д.). Следует подчеркнуть, что в термохимических уравнениях могут стоять дробные коэффициенты. Тепловой эффект реакции зависит от температуры и давления, поэтому, как правило, его приводят для стандартных условий, т. е. температуры 298 К и давления 101,3 кПа.

Тепловой эффект химической реакции рассчитывают по термохимическому уравнению.

Рассмотрим несколько типовых задач.

1. Теплота сгорания этана равна 1560 кДж/моль. Какое количество тепла выделится при сгорании 2 м<sup>3</sup> этана?

**Решение.** Составляем уравнение химической реакции:



Составим пропорцию:

$$1 \text{ моль (22,4 л) (C}_2\text{H}_6) - 1560 \text{ кДж;}$$

$$2 \text{ м}^3 (2000 \text{ л) (C}_2\text{H}_6) - x \text{ кДж;}$$

$$x = 2000 \cdot 1560 / 22,4 = 1,39 \cdot 10^5 \text{ кДж.}$$

**Ответ:**  $1,39 \cdot 10^5$  кДж.

2. Теплота сгорания магния равна 600 кДж/моль. Какое количество тепла выделится при сжигании порции магния, содержащей  $1,806 \cdot 10^{24}$  электронов?

**Решение.** Порядковый номер магния в Периодической системе — 12, следовательно, в его атоме содержится 12 электронов, а в 1 моль магния  $12 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} = 7,224 \cdot 10^{24}$

электронов. Определяем количество вещества магния, вступившего в реакцию:

$$n(\text{Mg}) = 1,806 \cdot 10^{24} / 7,224 \cdot 10^{24} = 0,25 \text{ моль.}$$

Составляем пропорцию:

$$1 \text{ моль (Mg)} — 600 \text{ кДж;}$$

$$0,25 \text{ моль (Mg)} — x \text{ кДж;}$$

$$x = 0,25 \cdot 600 / 1 = 150 \text{ кДж.}$$

О т в е т: 150 кДж.

3. При нейтрализации 11,2 г гидроксида калия соляной кислотой выделилось 11,4 кДж тепла. Составьте термохимическое уравнение этой реакции.

Р е ш е н и е. Определяем количество вещества гидроксида калия:

$$n(\text{KOH}) = 11,2 / 56 = 0,2 \text{ моль.}$$

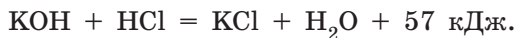
Составляем пропорцию:

$$0,2 \text{ моль (KOH)} — 11,4 \text{ кДж;}$$

$$1 \text{ моль (KOH)} — x \text{ кДж;}$$

$$x = 1 \cdot 11,4 / 0,2 = 57 \text{ кДж.}$$

Следовательно, термохимическое уравнение будет иметь вид:



4. Теплота сгорания серы равна 297 кДж/моль. Определите массу сгоревшей серы, если при этом выделилось 1336,5 кДж теплоты.

Р е ш е н и е. Составим пропорцию:

$$32 \text{ г (1 моль) (S)} — 297 \text{ кДж;}$$

$$x \text{ г (S)} — 1336,5 \text{ кДж};$$

$$x = 1336,5 \cdot 32 / 297 = 144 \text{ г.}$$

О т в е т: 144 г S.

5. Теплота сгорания метана равна 890 кДж/моль. Теплота сгорания пропана равна 2220 кДж/моль. Определите объем метана, при сгорании которого выделится столько же тепла, сколько при сгорании 100 л пропана.

Р е ш е н и е. Определим количество тепла, которое выделится при сгорании 100 л пропана:

$$22,4 \text{ л (1 моль) (C}_3\text{H}_8) — 2220 \text{ кДж};$$

$$100 \text{ л (C}_3\text{H}_8) — x \text{ кДж};$$

$$x = 100 \cdot 2220 / 22,4 = 9911 \text{ кДж.}$$

Определим объем метана, при сгорании которого выделится 9911 кДж тепла:

$$22,4 \text{ л (1 моль) (CH}_4) — 890 \text{ кДж};$$

$$x \text{ л (CH}_4) — 9911 \text{ кДж};$$

$$x = 9911 \cdot 22,4 / 890 = 249,4 \text{ л.}$$

О т в е т: 249,4 л метана.

## **ЗАДАНИЯ ВЫСОКОГО УРОВНЯ СЛОЖНОСТИ С РАЗВЕРНУТЫМ ОТВЕТОМ**

Задания *с развернутым ответом* предусматривают комплексную проверку усвоения на профильном уровне нескольких (двух и более) элементов содержания из различных содержательных блоков. Они подразделяются на следующие типы:

— *задания*, проверяющие усвоение основополагающих элементов содержания, таких, например, как «окислительно-восстановительные реакции»;

— *задания*, проверяющие усвоение знаний о взаимосвязи веществ различных классов (на примерах превращений неорганических и органических веществ);

— *расчетные задачи*.

Задания с развернутым ответом ориентированы на проверку умений:

— *объяснять* обусловленность свойств и применения веществ их составом и строением; характер взаимного влияния атомов в молекулах органических соединений; взаимосвязь неорганических и органических веществ; сущность и закономерность протекания изученных типов реакций;

— *проводить* комбинированные расчеты по химическим уравнениям.

### **РЕАКЦИИ ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЕ**

Начиная с 2018 года, задания 30 «Реакции окислительно-восстановительные» и 31 «Электролитическая диссоциация электролитов в водных растворах. Сильные и слабые электролиты. Реакции ионного обмена» объединены общим перечнем веществ.

При этом нужно помнить о следующих рекомендациях по оцениванию отдельных элементов ответа и решению возможных проблемных ситуаций.

## **ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ОТВЕТА ЗАДАНИЯ 30**

1. Ставится 1 балл, если выбраны вещества из списка и составлено молекулярное уравнение окислительно-восстановительной реакции между ними:

- из приведенного в условии списка веществ выбраны те вещества, между которыми протекает окислительно-восстановительная реакция;
- правильно составлены формулы продуктов этой окислительно-восстановительной реакции;
- расставлены все коэффициенты в уравнении (при этом допустимо использование кратных коэффициентов, в том числе и дробных).

Дополнительные рекомендации, которые необходимо учитывать в случае проблемных ситуаций:

— в качестве исходных веществ (окислителя и восстановителя) могут быть использованы только вещества из предложенного списка (вода используется в качестве среды протекания реакций);

— реакции разложения сложных веществ не могут быть приняты в качестве верного ответа, так как по условию задания требуется выбрать «вещества, между которыми...»).

2. Ставится 1 балл за составление электронного баланса при условии, если:

- правильно указаны степени окисления элемента-окислителя и элемента-восстановителя, участвующих в процессах окисления и восстановления;
- электронный баланс можно считать составленным верно в случае, если любым способом будет показано, что число отданных восстановителем электронов равно числу электро-

нов, принимаемых окислителем: это могут быть коэффициенты в уравнении реакции; могут быть указаны множители за вертикальной чертой; может присутствовать словесная запись о числе отданных и присоединенных электронов; может быть использован метод полуреакций (электронно-ионный баланс);

- указан окислитель и восстановитель.

Дополнительные рекомендации, которые необходимо учитывать в случае проблемных ситуаций.

— степень окисления 0 может не указываться экзаменуемым;

— если степень окисления не указана, то считать ее равной 0;

— считать верными записи, подобные следующим « $\text{Cl}^{-1}$ », « $\text{Cl}^{-}$ », « $2\text{Cr}^{3+}$ », « $\text{Cr}^{+6}$ », которые экзаменуемый использовал при указании степени окисления;

— считать неверными записи, подобные следующим « $\text{N}_2^{3-}$ », « $\text{Cr}_2^{6+}$ » (или « $\text{N}_2^{-3}$ », « $\text{Cr}_2^{+6}$ »);

— наличие в ответе экзаменуемого взаимоисключающих суждений или обозначений следует рассматривать как факт несформированности умения применять данные знания (например, знаки «+» и «-» в записи электронного баланса не соответствуют природе окислителя или восстановителя).

Экзаменуемый может:

— в качестве окислителя и восстановителя указать элементы в соответствующей строчке электронного баланса или отдельно выписать формулы/названия веществ;

— обозначить окислитель и восстановитель даже одной буквой («В» и «О»).

При оценивании выполнения задания принимается во внимание тот факт, что экзаменуемый может использовать свой алгоритм выполнения задания (отличный от предложенного «варианта ответа»). В случае если выбраны вещества из списка, между которыми невозможно протекание окислительно-восстановительной реакции, то за молекуляр-

ное уравнение ставится 0 баллов и электронный баланс не оценивается — 0 баллов. В случае если выбраны вещества, между которыми возможна окислительно-восстановительная реакция, но **допущена(-ы) ошибка(-и) в определении состава продуктов реакции** (к примеру, не учтен характер среды раствора), то за первый элемент ответа (уравнение реакции) ставится 0 баллов, а электронный баланс оценивается применительно к составленному экзаменуемым уравнению реакции. **Если в ответе к данному заданию будут приведены уравнения нескольких реакций, то проверяется только первое из них.**

Для составления окислительно-восстановительных реакций используют метод электронного баланса, или метод полуреакций. Напомним основные их правила, а также сведения о важнейших окислителях и восстановителях.

Составление уравнения окислительно-восстановительной реакции осуществляют в несколько стадий.

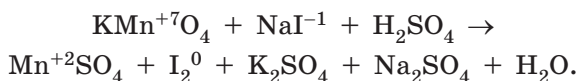
1. Записывают схему уравнения с указанием в левой и правой частях степеней окисления атомов элементов, участвующих в процессах окисления и восстановления.

2. Определяют число электронов, приобретаемых или отдаваемых атомами или ионами.

3. Уравнивают число присоединенных и отданных электронов введением множителей, исходя из наименьшего кратного для коэффициентов в процессах окисления и восстановления.

4. Найденные коэффициенты (их называют основными) подставляют в уравнение реакции перед соответствующими формулами веществ в левой и правой частях.

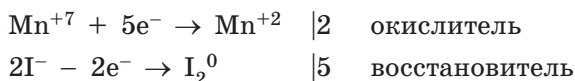
**Пример 1.** Окисление йодида натрия перманганатом калия в среде серной кислоты. Записываем схему реакции, указываем степени окисления элементов, участвующих в процессах окисления и восстановления:



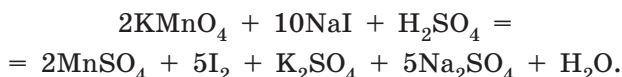
Атом марганца принимает пять электронов, изменяя свою степень окисления от +7 до +2. Перманганат калия является окислителем.

Два йодид-иона отдают два электрона, образуя молекулу  $\text{I}_2^0$ . Йодид натрия является восстановителем.

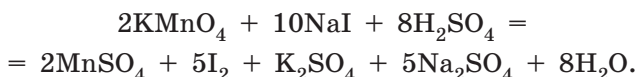
Составляем уравнение электронного баланса и уравниваем число присоединенных и отданных электронов введением множителей:



Найденные коэффициенты подставим в уравнение реакции перед соответствующими формулами веществ в левой и правой частях.



Серная кислота является средой реакции. Ни один из элементов, входящих в состав этого соединения, свою степень окисления не меняет, но сульфат-анион связывает выделяющиеся в результате реакции катионы калия, натрия и марганца. Подсчитаем число сульфат-ионов в правой части. Оно равно  $2 + 1 + 5 = 8$ . Следовательно, перед серной кислотой следует поставить коэффициент 8. Число атомов водорода в левой части уравнения равно  $8 \times 2 = 16$ . Отсюда вычисляем коэффициент для воды:  $16/2 = 8$ . Таким образом, уравнение реакции будет иметь вид:



Правильность баланса проверяем по кислороду. В левой части его  $2 \times 4 = 8$  (перманганат калия); в правой —



$8 \times 1 = 8$  (вода). Следовательно, уравнение составлено правильно.

В методе полуреакций, или ионно-электронным методе, для удобства окисление и восстановление рассматривают как самостоятельные процессы, каждый из которых отражает половину полного уравнения реакции. Уравнения составляют по следующим правилам.

1. В соединениях, участвующих в реакции, определяют заряды ионов, а не степени окисления соответствующих атомов.

2. Составляют ионную схему реакции, определяют при этом окислитель и восстановитель и указывают только реально участвующие в окислении-восстановлении ионы.

3. Составляют электронно-ионные уравнения для каждой полуреакции, число действующих в уравнении электронов должно быть равно суммарному изменению зарядов ионов в соответствующем процессе.

4. Уравнение каждой полуреакции умножают на такой множитель, чтобы число электронов в процессе окисления было равно числу электронов в процессе восстановления. После этого уравнения обеих реакций суммируют и получают сбалансированное уравнение полной реакции.

5. Полученные коэффициенты записывают в основное уравнение перед соответствующими веществами.

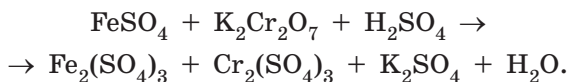
В реакциях, протекающих в кислой среде, число атомов кислорода в полуреакциях балансируют ионами  $\text{H}^+$  или молекулами воды.

В реакциях, протекающих в щелочной среде, число атомов кислорода в полуреакциях балансируют ионами  $\text{OH}^-$  или молекулами воды.

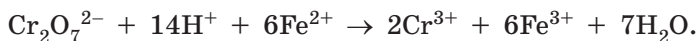
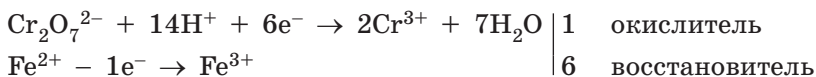
В реакциях, протекающих в нейтральной среде, баланс осуществляют только молекулами воды.

Поясним вышеперечисленные правила несколькими примерами.

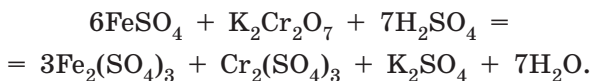
**Пример 2.** Окисление сульфата железа (II) дихроматом калия в кислой среде:



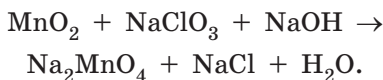
Окислителем является дихромат-ион  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ , переходящий в ион  $\text{Cr}^{3+}$ . Восстановителем является ион  $\text{Fe}^{2+}$ , переходящий в ион  $\text{Fe}^{3+}$ . Составляем электронно-ионные уравнения для каждой полуреакции, балансируя их ионами  $\text{H}^+$  и молекулами воды, подбираем множители и получим сбалансированное уравнение полной реакции:



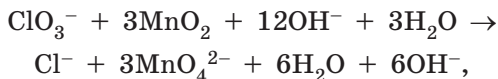
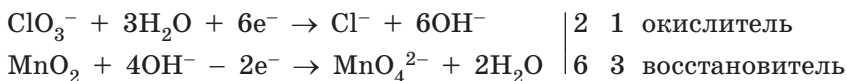
Запишем полученные коэффициенты в основное уравнение реакции перед соответствующими веществами:



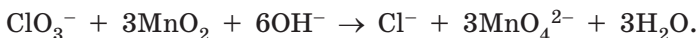
**Пример 3.** Окисление оксида марганца (IV) хлоратом натрия в щелочной среде:



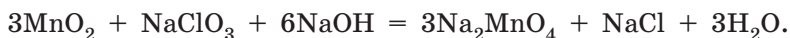
Окислителем в этой реакции является хлорат-ион  $\text{ClO}_3^-$ , переходящий в хлорид-ион  $\text{Cl}^-$ . Восстановителем является оксид марганца (IV), переходящий в манганат-ион  $\text{MnO}_4^{2-}$ . Составляем электронно-ионные уравнения для каждой полуреакции, балансируя их ионами  $\text{OH}^-$  и молекулами воды, подбираем множители и получаем сбалансированное уравнение полной реакции:



или после сокращения:



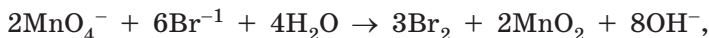
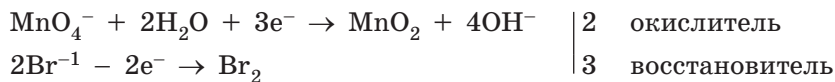
Запишем полученные коэффициенты в основное уравнение реакции перед соответствующими веществами:



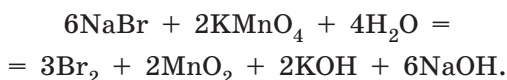
**Пример 4.** Окисление бромида натрия перманганатом калия в нейтральной среде:



Окислителем является перманганат-ион  $\text{MnO}_4^-$ , который переходит в оксид марганца (IV). Восстановителем является бромид-ион  $\text{Br}^-$ , который переходит в молекулярный бром. Составляем электронно-ионные уравнения для каждой полуреакции, балансируя их молекулами воды, которые переходят в гидроксид-ионы, подбираем множители и получаем сбалансированное уравнение полной реакции:



Запишем полученные коэффициенты в основное уравнение реакции:



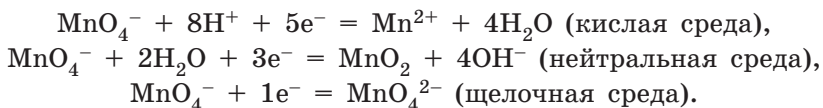
Достоинство метода полуреакций заключается в том, что учитывается реальное состояние частиц в растворе и отчетливо видна роль среды. С помощью этого метода можно прогнозировать изменения, которые претерпевают реально существующие в растворе ионы и молекулы. Но при этом следует иметь в виду, что, хотя полуреакции отражают реальные процессы, идущие при окислительно-восстановительных реакциях, их нельзя отождествлять с реальными стадиями (механизмом) окислительно-восстановительных реакций.

Метод полуреакций применим для составления уравнений окислительно-восстановительных процессов, которые проходят лишь в растворах.

Метод электронного баланса менее нагляден, но зато более универсален и позволяет составлять уравнения окислительно-восстановительных реакций, происходящих не только в растворах, но и между газообразными, жидкими и твердыми веществами, а также между веществами, находящимися в водных растворах.

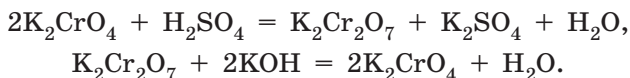
Перечислим некоторые важнейшие окислители.

**Перманганат калия.** Является сильным окислителем, широко применяется в лабораторной практике. Характер восстановления перманганата калия зависит от среды, в которой протекает реакция. В кислой среде перманганат калия восстанавливается до солей  $\text{Mn}^{2+}$ , в нейтральной или слабощелочной — до  $\text{MnO}_2$ , а в сильнощелочной он переходит в манганат-ион  $\text{MnO}_4^{2-}$ . Данные переходы описываются следующими уравнениями:



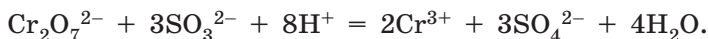
Перманганат калия способен окислять сульфиды в сульфаты, нитриты в нитраты, йодиды до свободного йода, соляную кислоту до хлора и т. д.

**Хромат и дихромат калия.** Эти соединения широко применяют в качестве окислителей в неорганических и органических синтезах. Взаимные переходы хромат- и бихроматионов очень легко протекают в растворах, что можно описать следующим уравнением обратимой реакции:

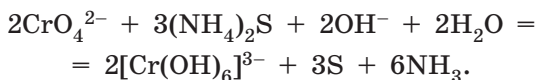


Соединения хрома (VI) — сильные окислители. В окислительно-восстановительных процессах они переходят в производные Cr (III).

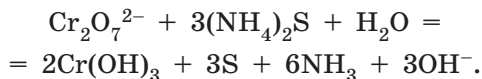
В кислой среде образуются ионы  $\text{Cr}^{3+}$ , например:



В щелочной — производные анионного комплекса  $[\text{Cr}(\text{OH})_6]^{3-}$ , например:



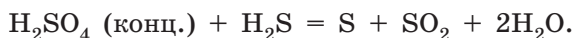
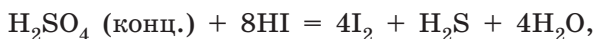
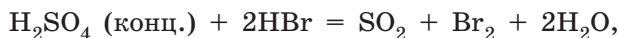
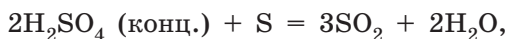
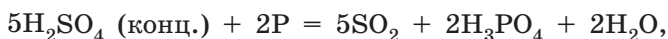
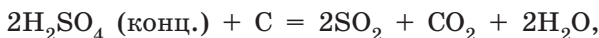
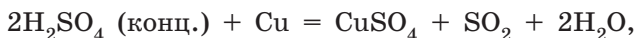
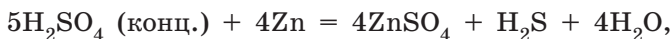
В нейтральной среде образуется гидроксид хрома (III), например:



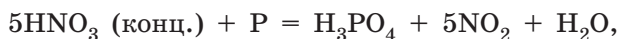
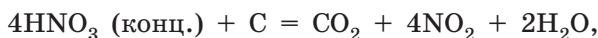
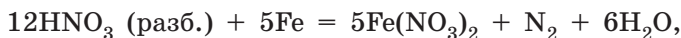
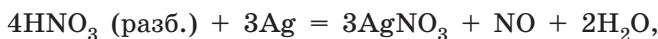
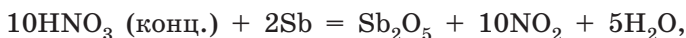
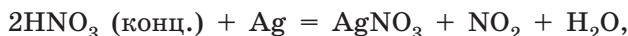
Но на самом деле уже при  $\text{pH} = 12$  гидроксид хрома (III) начинает растворяться в избытке щелочи, образуя комплексный анион  $[\text{Cr}(\text{OH})_6]^{3-}$ . Именно поэтому в заданиях данной категории не рекомендуем писать реакции с использованием воды в качестве среды в окислительно-восстановительных реакциях.

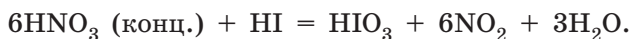
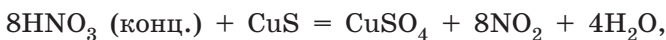
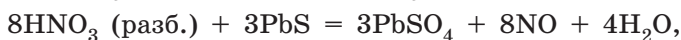
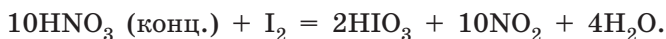
**Концентрированная серная кислота.** Сильный окислитель. Способна окислять многие металлы и неметаллы, а также их соединения. Продуктам восстановления чаще всего является  $\text{SO}_2$ , реже — сера или сероводород. Ниже

в качестве справочного материала приведены характерные окислительно-восстановительные реакции с участием концентрированной серной кислоты:



**Азотная кислота.** Является сильным окислителем практически в любой концентрации. Состав продуктов восстановления зависит от природы восстановителя и от исходной концентрации кислоты. В целом, чем выше концентрация кислоты и чем менее активен восстановитель, тем меньше изменение степени окисления азота. Ниже в качестве справочного материала приведены характерные окислительно-восстановительные реакции с участием азотной кислоты:





Подчеркнем еще раз. Запись уравнений окислительно-восстановительных реакций с участием  $\text{HNO}_3$  обычно условна. Как правило, в них указывают лишь продукт, образующийся в большем количестве. В некоторых из таких реакций в качестве продукта восстановления обнаружен водород (реакция разбавленной  $\text{HNO}_3$  с  $\text{Mg}$  и  $\text{Mn}$ ).

### Основные элементы ответа для заданий 31

1. Ставится 1 балл, если выбраны вещества из списка, и составлено молекулярное уравнение реакции ионного обмена между ними:

- из приведенного в условии списка веществ выбраны те вещества, которые могут участвовать в реакции ионного обмена;
- расставлены все коэффициенты в молекулярном уравнении реакции.

2. Ставится 1 балл, если записаны полное и сокращенное ионные уравнения:

- правильно указаны заряды ионов в каждом из ионных уравнений реакций (например, « $\text{Na}^+$ », или « $\text{SO}_4^{2-}$ »);
- в ионном уравнении реакции формулы слабых электролитов, практически нерастворимых веществ и газов записаны в молекулярном виде;
- в сокращенном ионном уравнении коэффициенты должны быть минимальными целыми числами.

Дополнительные рекомендации, которые необходимо учитывать в случае проблемных ситуаций:

- при составлении как молекулярного, так и ионного уравнения реакции экзаменуемый может не использовать обозначения осадка «↓» или газа «↑».

При оценивании выполнения задания принимается во внимание тот факт, что экзаменуемый может использовать свой алгоритм выполнения задания (отличный от предложенного «варианта ответа»). Если в ответе к данному заданию будут приведены уравнения нескольких реакций, то проверяется только первое из них.

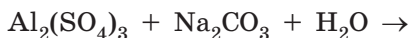
Реакции ионного обмена в растворах электролитов протекают практически необратимо и до конца, если в качестве продуктов образуются осадки (малорастворимые вещества), газы (легколетучие вещества), слабые электролиты (малодиссоциирующие соединения) и комплексные ионы. Если при взаимодействии растворов электролитов не образуется ни одно из указанных видов соединений, химическое взаимодействие практически не происходит.

Уравнения обменных реакций можно записать в молекулярной форме, полной ионной форме, с указанием всех существующих в растворе ионов и в сокращенной ионной форме, которая, собственно, и выражает взаимодействие ионов. Следует отметить, что при написании уравнений реакций в ионной форме малодиссоциирующие вещества (слабые электролиты) записывают в молекулярной форме.

Иногда в ходе обменных реакций образуются вещества, для которых в таблице растворимости приведены символы «—» (в водной среде разлагается или не существует) или «?» — нет достоверных сведений о существовании соединения. Это означает, что данное соединение водой разлагается на кислоту и основание.

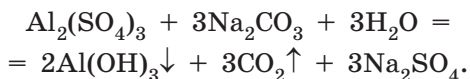
Так, например, сульфид алюминия разлагается водой на  $\text{Al}(\text{OH})_3$  и  $\text{H}_2\text{S}$ ; карбонат хрома (III)  $\text{Cr}_2(\text{CO}_3)_3$  разлагается на  $\text{Cr}(\text{OH})_3$  и  $\text{CO}_2$  и т.д.

**Пример 5.** Реакция между водными растворами сульфата алюминия и карбоната натрия:

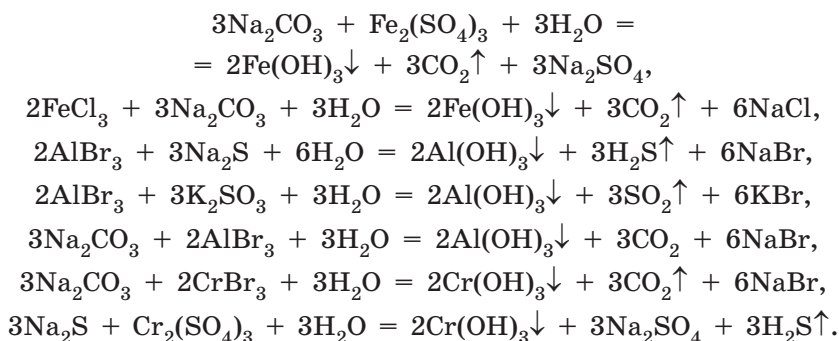




Теоретически в результате этой реакции должны образоваться сульфат натрия и карбонат алюминия. Однако последний в водном растворе не существует, а разлагается на  $\text{Al}(\text{OH})_3$  и  $\text{CO}_2$ . Следовательно, реакция пройдет следующим образом:



Ниже в качестве справочного материала приведены часто встречающиеся реакции совместного гидролиза:

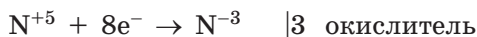


Для выполнения заданий 30, 31 используйте следующий перечень веществ: алюминий, нитрат калия, гидроксид калия, хлорид натрия, хлорид железа (III). Допустимо использование водных растворов веществ.

**30.1.** Из предложенного перечня веществ выберите вещества, между которыми может протекать окислительно-восстановительная реакция. В ответе запишите уравнение только одной из возможных окислительно-восстановительных реакций. Составьте электронный баланс, укажите окислитель и восстановитель в этой реакции.

Среди веществ из данного перечня окислительно-восстановительная реакция возможна лишь между алюминием и

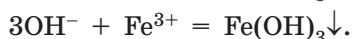
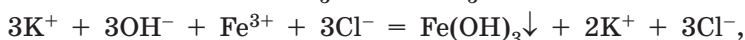
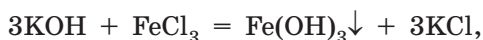
нитратом калия. Она протекает в водно-щелочной среде по уравнению:



Термическое разложение нитрата калия засчитано не будет.

**31.1.** Из предложенного перечня веществ выберите вещества, между которыми может протекать реакция ионного обмена. Запишите молекулярное, полное и сокращенное ионное уравнение только одной из возможных реакций.

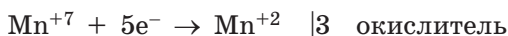
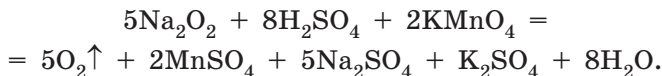
Из приведенного перечня веществ в обменную реакцию вступит гидроксид калия и хлорид железа (III). Реакция пойдет до конца, поскольку в осадок выпадет гидроксид железа (III):



Для выполнения заданий 30, 31 используйте следующий перечень веществ: пероксид натрия, серная кислота, перманганат калия, карбонат натрия, хлорид калия. Допустимо использование водных растворов веществ.

**30.2.** Из предложенного перечня веществ выберите вещества, между которыми может протекать окислительно-восстановительная реакция. В ответе запишите уравнение только одной из возможных окислительно-восстановительных реакций. Составьте электронный баланс, укажите окислитель и восстановитель в этой реакции.

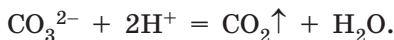
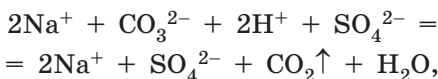
Среди веществ из данного перечня окислительно-восстановительная реакция возможна лишь между пероксидом натрия и перманганатом калия. Она протекает в сернокислой среде по уравнению:



Реакция разложения пероксида натрия засчитана не будет.

**31.2.** Из предложенного перечня веществ выберите вещества, между которыми может протекать реакция ионного обмена. Запишите молекулярное, полное и сокращенное ионное уравнение только одной из возможных реакций.

Реакция обмена между карбонатом бария и серной кислотой идет до конца, поскольку одновременно выделяются газ и вода:

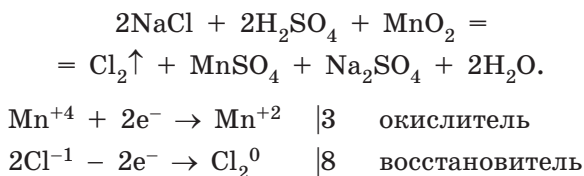


Также возможна обменная реакция между хлоридом калия и концентрированной серной кислотой. Она идет с образованием гидросульфата калия и выделением из сферы реакции газообразного хлороводорода.

Для выполнения заданий 30, 31 используйте следующий перечень веществ: хлорид натрия, серная кислота, оксид марганца (IV), хлорид серебра, нитрат серебра. Допустимо использование водных растворов веществ.

**30.3.** Из предложенного перечня веществ выберите вещества, между которыми может протекать окислительно-восстановительная реакция. В ответе запишите уравнение только одной из возможных окислительно-восстановительных реакций. Составьте электронный баланс, укажите окислитель и восстановитель в этой реакции.

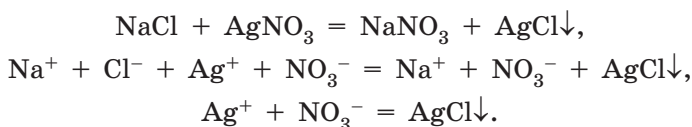
Среди веществ из данного перечня возможна окислительно-восстановительная реакция между хлоридом натрия и оксид марганца (IV). Она протекает только в сернокислой среде по уравнению:



Термическое разложение нитрата серебра зачтено не будет.

**31.3.** Из предложенного перечня веществ выберите вещества, между которыми может протекать реакция ионного обмена. Запишите молекулярное, полное и сокращенное ионное уравнение только одной из возможных реакций.

Хлорид натрия вступает в обменную реакцию с нитратом серебра:

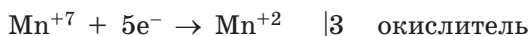
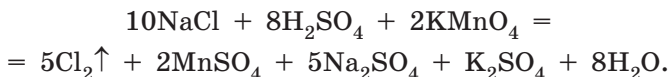


Также возможна обменная реакция между нитратом серебра и раствором серной кислоты, поскольку сульфат серебра мало растворим в воде.

Для выполнения заданий 30, 31 используйте следующий перечень веществ: хлорид натрия, серная кислота, перманганат калия, нитрат бария, нитрат калия. Допустимо использование водных растворов веществ.

**30.4.** Из предложенного перечня веществ выберите вещества, между которыми может протекать окислительно-восстановительная реакция. В ответе запишите уравнение только одной из возможных окислительно-восстановительных реакций. Составьте электронный баланс, укажите окислитель и восстановитель в этой реакции.

Перманганат калия в сернокислой среде окислит хлорид натрия до хлора:

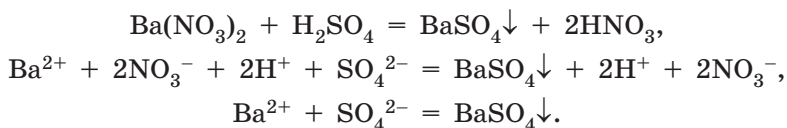


В нейтральной среде такая реакция практически не идет.

Также не будут зачтены реакции термического разложения перманганата калия, нитрата бария или нитрата натрия.

**31.4.** Из предложенного перечня веществ выберите вещества, между которыми может протекать реакция ионного обмена. Запишите молекулярное, полное и сокращенное ионное уравнение только одной из возможных реакций.

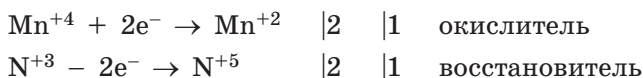
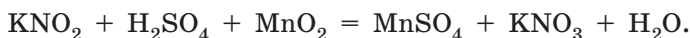
Нитрат бария вступит в реакцию обмена с серной кислотой. Реакция идет до конца, поскольку в осадок выпадает сульфат бария:



Для выполнения заданий 30, 31 используйте следующий перечень веществ: нитрит калия, серная кислота, оксид марганца (IV), нитрат свинца, фосфат лития. Допустимо использование водных растворов веществ.

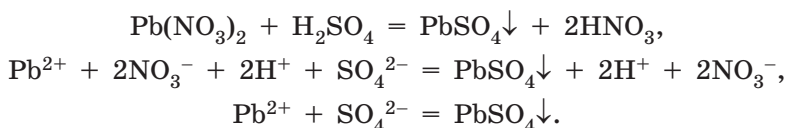
**30.5.** Из предложенного перечня веществ выберите вещества, между которыми может протекать окислительно-восстановительная реакция. В ответе запишите уравнение только одной из возможных окислительно-восстановительных реакций. Составьте электронный баланс, укажите окислитель и восстановитель в этой реакции.

Оксид марганца (IV) может окислить нитрит натрия до нитрата. Реакция идет в среде серной кислоты:



**31.5.** Из предложенного перечня веществ выберите вещества, между которыми может протекать реакция ионного обмена. Запишите молекулярное, полное и сокращенное ионное уравнение только одной из возможных реакций.

Нитрат свинца реагирует с серной кислотой с образованием нерастворимого сульфата свинца (II):

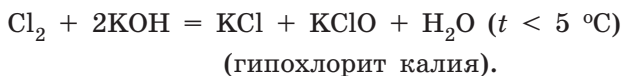


Для выполнения заданий 30, 31 используйте следующий перечень веществ: гидроксид калия, хлор, бром, хлорид магния, фосфат магния. Допустимо использование водных растворов веществ.

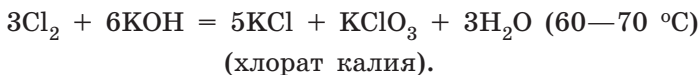
**30.6.** Из предложенного перечня веществ выберите вещества, между которыми может протекать окислительно-восстановительная реакция. В ответе запишите уравнение только одной из возможных окислительно-восстановительных реакций. Составьте электронный баланс, укажите окислитель и восстановитель в этой реакции.

Вещества из данного перечня способны вступать в пять окислительно-восстановительных реакций. Так, и хлор, и бром могут взаимодействовать с раствором гидроксида калия. Направления этих реакций диспропорционирования зависят от температуры проведения реакции.

Например, при взаимодействии хлора с гидроксидом калия при охлаждении до 5 °С образуется смесь хлорида и гипохлорита калия по уравнению реакции:



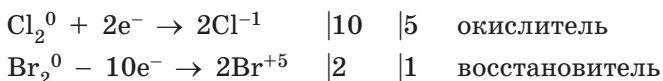
При повышении температуры до 60—70 °С направление реакции полностью меняется:



Аналогично протекают реакции с бромом.

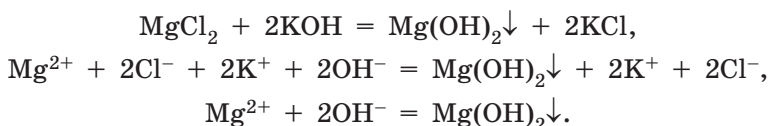
А межмолекулярное окислительно-восстановительное взаимодействие происходит в соответствии с уравнением:





**31.6.** Из предложенного перечня веществ выберите вещества, между которыми может протекать реакция ионного обмена. Запишите молекулярное, полное и сокращенное ионное уравнение только одной из возможных реакций.

Гидроксид калия вступает в обменную реакцию с хлоридом магния. При этом в осадок выпадает гидроксид магния:

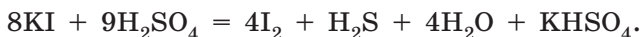


Эта реакция является единственной возможной для данного набора веществ.

Для выполнения заданий 30, 31 используйте следующий перечень веществ: йодид калия, серная кислота, перманганат калия, нитрат свинца, фторид калия. Допустимо использование водных растворов веществ.

**30.7.** Из предложенного перечня веществ выберите вещества, между которыми может протекать окислительно-восстановительная реакция. В ответе запишите уравнение только одной из возможных окислительно-восстановительных реакций. Составьте электронный баланс, укажите окислитель и восстановитель в этой реакции.

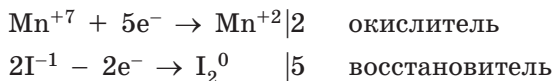
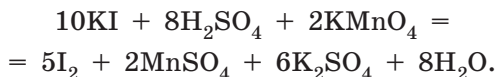
Йодид калия может быть окислен до йода концентрированной серной кислотой. Именно так был открыт химический элемент Йод:



Реакция протекает в температурном интервале от 30 до 50 °С.

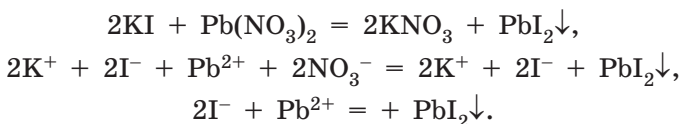


В среде серной кислоты реакцию можно описать следующим уравнением:



**31.7.** Из предложенного перечня веществ выберите вещества, между которыми может протекать реакция ионного обмена. Запишите молекулярное, полное и сокращенное ионное уравнение только одной из возможных реакций.

Йодид калия легко вступает в обменную реакцию с нитратом свинца. Она идет до конца, поскольку йодид свинца уходит из сферы реакции в виде осадка:

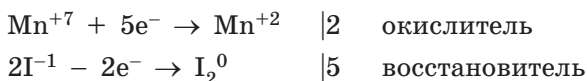
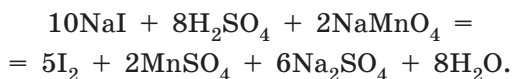


Возможна также реакция между серной кислотой и нитратом свинца, поскольку сульфат свинца в воде нерастворим.

Для выполнения заданий 30, 31 используйте следующий перечень веществ: йодид натрия, серная кислота, перманганат натрия, нитрат серебра, фторид натрия. Допустимо использование водных растворов веществ.

**30.8.** Из предложенного перечня веществ выберите вещества, между которыми может протекать окислительно-восстановительная реакция. В ответе запишите уравнение только одной из возможных окислительно-восстановительных реакций. Составьте электронный баланс, укажите окислитель и восстановитель в этой реакции.

Йодид натрия легко можно окислить перманганатом натрия по уравнению:



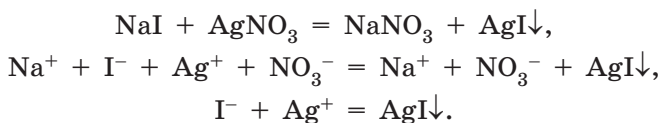
В водной среде такая реакция практически не пойдет.

Про окисление йодида натрия концентрированной серной кислотой по аналогии с йодидом калия можно узнать в примере выше.

Термическое разложение нитрата серебра не будет засчитано в качестве окислительно-восстановительной реакции.

**31.8.** Из предложенного перечня веществ выберите вещества, между которыми может протекать реакция ионного обмена. Запишите молекулярное, полное и сокращенное ионное уравнение только одной из возможных реакций.

Йодид натрия вступает в обменную реакцию с нитратом серебра:

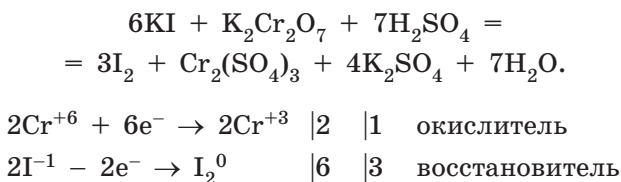


Нитрат серебра так же способен реагировать с серной кислотой, поскольку сульфат серебра мало растворим в воде.

Для выполнения заданий 30, 31 используйте следующий перечень веществ: йодид калия, дихромат калия, серная кислота, фторид натрия, нитрат кальция. Допустимо использование водных растворов веществ.

**30.9.** Из предложенного перечня веществ выберите вещества, между которыми может протекать окислительно-восстановительная реакция. В ответе запишите уравнение только одной из возможных окислительно-восстановительных реакций. Составьте электронный баланс, укажите окислитель и восстановитель в этой реакции.

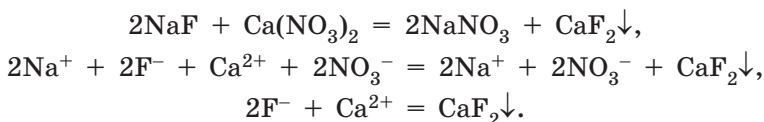
Дихромат калия в среде серной кислоты окислит йодид калия до йода:



В водной среде осуществить такую реакцию практически невозможно.

**31.9.** Из предложенного перечня веществ выберите вещества, между которыми может протекать реакция ионного обмена. Запишите молекулярное, полное и сокращенное ионное уравнение только одной из возможных реакций.

Фторид натрия вступает в реакцию обмена с нитратом кальция:

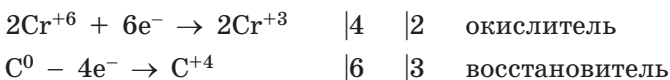
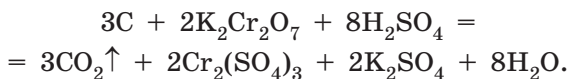


Так же возможна реакция обмена между серной кислотой и нитратом кальция, поскольку сульфат кальция мало растворим в воде.

Для выполнения заданий 30, 31 используйте следующий перечень веществ: углерод, дихромат калия, серная кислота, фосфат натрия, хлорид лития. Допустимо использование водных растворов веществ.

**30.10.** Из предложенного перечня веществ выберите вещества, между которыми может протекать окислительно-восстановительная реакция. В ответе запишите уравнение только одной из возможных окислительно-восстановительных реакций. Составьте электронный баланс, укажите окислитель и восстановитель в этой реакции.

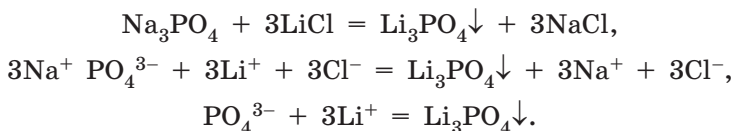
Дихромат калия в сернокислой среде окислит углерод:



В водной среде такая реакция практически неосуществима.

**31.10.** Из предложенного перечня веществ выберите вещества, между которыми может протекать реакция ионного обмена. Запишите молекулярное, полное и сокращенное ионное уравнение только одной из возможных реакций.

Фосфат натрия вступает в реакцию обмена с хлоридом лития:

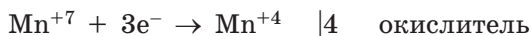


Других обменных реакций для веществ этого набора составить нельзя.

Для выполнения заданий 30, 31 используйте следующий перечень веществ: сероуглерод, перманганат калия, гидроксид калия, хлорид марганца (II), нитрат натрия. Допустимо использование водных растворов веществ.

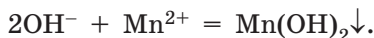
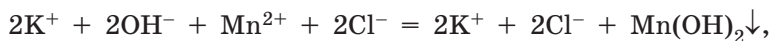
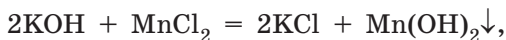
**30.11.** Из предложенного перечня веществ выберите вещества, между которыми может протекать окислительно-восстановительная реакция. В ответе запишите уравнение только одной из возможных окислительно-восстановительных реакций. Составьте электронный баланс, укажите окислитель и восстановитель в этой реакции.

Сероуглерод может быть окислен до серы перманганатом калия в щелочной среде в соответствии со следующим уравнением:



**31.11.** Из предложенного перечня веществ выберите вещества, между которыми может протекать реакция ионного обмена. Запишите молекулярное, полное и сокращенное ионное уравнение только одной из возможных реакций.

Гидроксид марганца (II) в воде нерастворим. Поэтому обменная реакция между гидроксидом калия и хлоридом марганца (II) идет до конца:



Для выполнения заданий 30, 31 используйте следующий перечень веществ: карбид кремния, гидроксид натрия, кислород, хлорид железа (II), сульфат калия. Допустимо использование водных растворов веществ.

**30.12.** Из предложенного перечня веществ выберите вещества, между которыми может протекать окислительно-восстановительная реакция. В ответе запишите уравнение

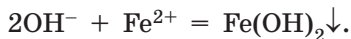
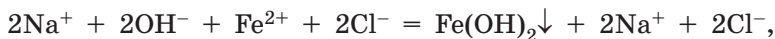
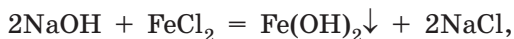
только одной из возможных окислительно-восстановительных реакций. Составьте электронный баланс, укажите окислитель и восстановитель в этой реакции.

Кислород в щелочной среде окислит карбид кремния до карбоната натрия:



**31.12.** Из предложенного перечня веществ выберите вещества, между которыми может протекать реакция ионного обмена. Запишите молекулярное, полное и сокращенное ионное уравнение только одной из возможных реакций.

Из приведенного перечня веществ в обменную реакцию вступит гидроксид натрия и хлорид железа (II). Реакция пойдет до конца, поскольку в осадок выпадет гидроксид железа (II):



Для выполнения заданий 30, 31 используйте следующий перечень веществ: оксид свинца (IV), азотная кислота, йодид калия, нитрат серебра, сульфид свинца (II). Допустимо использование водных растворов веществ.

**30.13.** Из предложенного перечня веществ выберите вещества, между которыми может протекать окислительно-восстановительная реакция. В ответе запишите уравнение только одной из возможных окислительно-восстановительных реакций. Составьте электронный баланс, укажите окислитель и восстановитель в этой реакции.

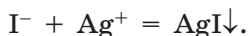
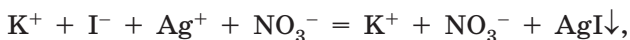
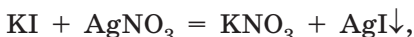
Оксид свинца (IV) может окислить йодид калия в среде азотной кислоты:



Кроме того, концентрированная азотная кислота может окислить йодид калия с образованием соединения состава  $\text{K}[\text{I}_2]$  (трийодид калия).

**31.13.** Из предложенного перечня веществ выберите вещества, между которыми может протекать реакция ионного обмена. Запишите молекулярное, полное и сокращенное ионное уравнение только одной из возможных реакций.

Йодид калия легко вступает в реакцию обмена с нитратом серебра. При этом выделяется йодид серебра:



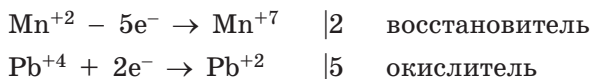
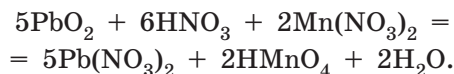
Другие обменные реакции для веществ из этого списка предложить невозможно.

Для выполнения заданий 30, 31 используйте следующий перечень веществ: нитрат марганца (II), оксид свинца (IV), азотная кислота, гидроксид калия, хлорид натрия. Допустимо использование водных растворов веществ.

**30.14.** Из предложенного перечня веществ выберите вещества, между которыми может протекать окислительно-восстановительная реакция. В ответе запишите уравнение только одной из возможных окислительно-восстановитель-

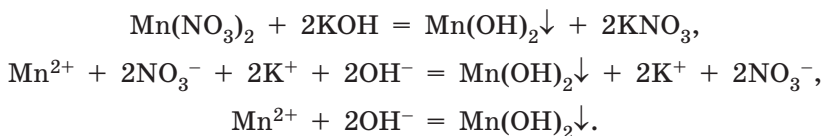
ных реакций. Составьте электронный баланс, укажите окислитель и восстановитель в этой реакции.

Оксид свинца (IV) в азотнокислой среде может окислить нитрат марганца (II) до марганцевой кислоты:



**31.14.** Из предложенного перечня веществ выберите вещества, между которыми может протекать реакция ионного обмена. Запишите молекулярное, полное и сокращенное ионное уравнение только одной из возможных реакций.

Гидроксид марганца (II) в воде нерастворим. Поэтому обменная реакция между гидроксидом калия и нитратом марганца (II) идет до конца:



Возможна обменная реакция между азотной кислотой и гидроксидом калия (реакция нейтрализации).

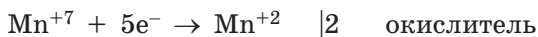
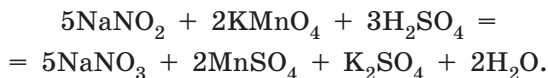
Для выполнения заданий 30, 31 используйте следующий перечень веществ: нитрит натрия, перманганат калия, серная кислота, карбонат натрия, хлорид алюминия. Допустимо использование водных растворов веществ.

**30.15.** Из предложенного перечня веществ выберите вещества, между которыми может протекать окислительно-восстановительная реакция. В ответе запишите уравнение



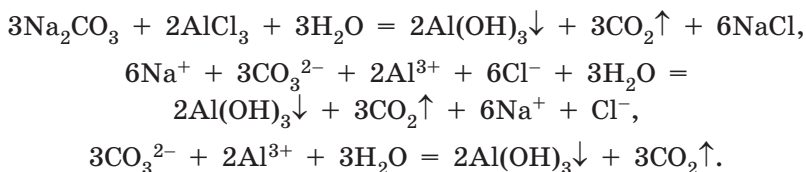
только одной из возможных окислительно-восстановительных реакций. Составьте электронный баланс, укажите окислитель и восстановитель в этой реакции.

Перманганат калия в сернокислой среде легко окислит нитрит натрия до нитрата:



**15.** Из предложенного перечня веществ выберите вещества, между которыми может протекать реакция ионного обмена. Запишите молекулярное, полное и сокращенное ионное уравнение только одной из возможных реакций.

Совместный гидролиз карбоната натрия и хлорида приведет к образованию гидроксида алюминия, углекислого газа и хлорида натрия, что можно описать уравнением:

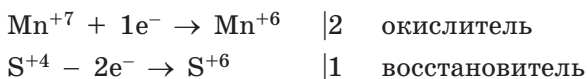
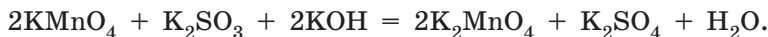


Кроме того, возможна обменная реакция между серной кислотой и карбонатом натрия.

Для выполнения заданий 30, 31 используйте следующий перечень веществ: гидроксид калия, перманганат калия, концентрированная серная кислота, хлорид хрома (III), сульфит калия. Допустимо использование водных растворов веществ.

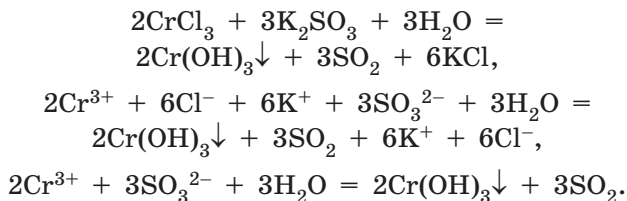
**30.16.** Из предложенного перечня веществ выберите вещества, между которыми может протекать окислительно-восстановительная реакция. В ответе запишите уравнение только одной из возможных окислительно-восстановительных реакций. Составьте электронный баланс, укажите окислитель и восстановитель в этой реакции.

Перманганат калия в щелочной среде окислит сульфит калия. Этот процесс можно описать уравнением:



**31.16.** Из предложенного перечня веществ выберите вещества, между которыми может протекать реакция ионного обмена. Запишите молекулярное, полное и сокращенное ионное уравнение только одной из возможных реакций.

Хлорид хрома (III) в нейтральной среде вступает в обменную реакцию с сульфитом калия:

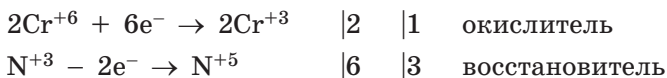
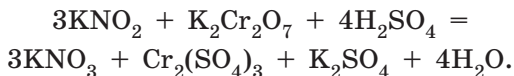


Кроме того, возможна обменная реакция между хлоридом хрома (III) и гидроксидом калия.

Для выполнения заданий 30, 31 используйте следующий перечень веществ: нитрит калия, дихромат калия, серная кислота, карбонат калия, сульфат кальция. Допустимо использование водных растворов веществ.

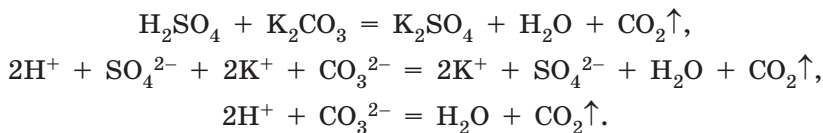
**30.17.** Из предложенного перечня веществ выберите вещества, между которыми может протекать окислительно-восстановительная реакция. В ответе запишите уравнение только одной из возможных окислительно-восстановительных реакций. Составьте электронный баланс, укажите окислитель и восстановитель в этой реакции.

Нитрит калия можно окислить в нитрат действием дихромата калия в среде серной кислоты:



**31.17.** Из предложенного перечня веществ выберите вещества, между которыми может протекать реакция ионного обмена. Запишите молекулярное, полное и сокращенное ионное уравнение только одной из возможных реакций.

Обменная реакция между серной кислотой и карбонатом калия пойдет до конца, поскольку при этом одновременно образуется газ и вода:

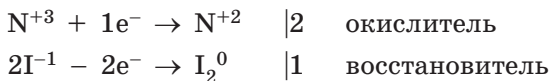


Для выполнения заданий 30, 31 используйте следующий перечень веществ: нитрит калия йодид калия, серная кислота, сульфат свинца, нитрат свинца. Допустимо использование водных растворов веществ.

**30.18.** Из предложенного перечня веществ выберите вещества, между которыми может протекать окислительно-

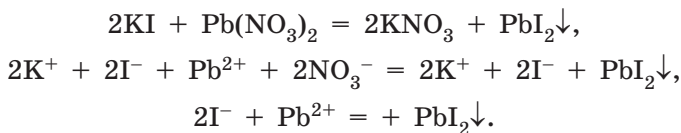
восстановительная реакция. В ответе запишите уравнение только одной из возможных окислительно-восстановительных реакций. Составьте электронный баланс, укажите окислитель и восстановитель в этой реакции.

Нитрит калия окислит йодид калия до йода в среде серной кислоты:



**31.18.** Из предложенного перечня веществ выберите вещества, между которыми может протекать реакция ионного обмена. Запишите молекулярное, полное и сокращенное ионное уравнение только одной из возможных реакций.

Йодид калия легко вступает в обменную реакцию с нитратом свинца. Она идет до конца, поскольку йодид свинца уходит из сферы реакции в виде осадка:



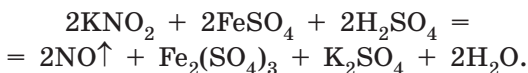
Возможна также обменная реакция между нитратом свинца и серной кислотой.

Для выполнения заданий 30, 31 используйте следующий перечень веществ: нитрит калия, сульфат железа (II), серная кислота, азотная кислота, гидроксид натрия. Допустимо использование водных растворов веществ.

**30.19.** Из предложенного перечня веществ выберите вещества, между которыми может протекать окислительно-восстановительная реакция. В ответе запишите уравнение

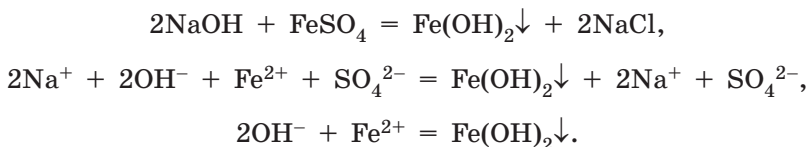
только одной из возможных окислительно-восстановительных реакций. Составьте электронный баланс, укажите окислитель и восстановитель в этой реакции.

Нитрит калия в среде серной кислоты может окислить сульфат железа (II) в сульфат железа (III):



**31.19.** Из предложенного перечня веществ выберите вещества, между которыми может протекать реакция ионного обмена. Запишите молекулярное, полное и сокращенное ионное уравнение только одной из возможных реакций.

Сульфат железа (II) вступает в обменную реакцию с гидроксидом натрия. Реакция идет до конца, поскольку гидроксид железа (II) уходит из сферы реакции в виде осадка:

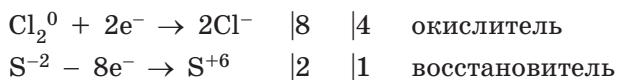
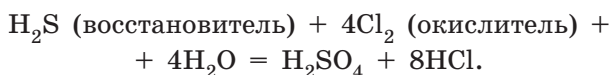


Возможны также обменные реакции между гидроксидом натрия и азотной или серной кислотой.

Для выполнения заданий 30, 31 используйте следующий перечень веществ: сероводород, хлор, фторид натрия, нитрат серебра, нитрат меди (II). Допустимо использование водных растворов веществ.

**30.20.** Из предложенного перечня веществ выберите вещества, между которыми может протекать окислительно-восстановительная реакция. В ответе запишите уравнение только одной из возможных окислительно-восстановительных реакций. Составьте электронный баланс, укажите окислитель и восстановитель в этой реакции.

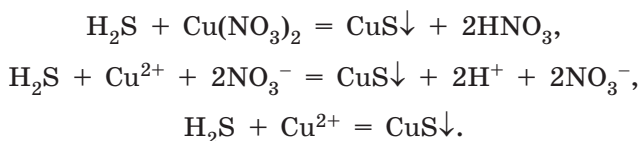
Хлор в нейтральной среде может окислить сероводород до серной кислоты:



Реакции разложения нитрата серебра или нитрата меди зачтены не будут.

**31.20.** Из предложенного перечня веществ выберите вещества, между которыми может протекать реакция ионного обмена. Запишите молекулярное, полное и сокращенное ионное уравнение только одной из возможных реакций.

Сероводород вступит в обменную реакцию с нитратом меди (II):



Также возможна обменная реакция между сероводородом и нитратом серебра.

## РЕАКЦИИ, ПОДТВЕРЖДАЮЩИЕ ВЗАИМОСВЯЗЬ РАЗЛИЧНЫХ КЛАССОВ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

Задания этого типа предназначены для проверки знаний химических свойств элементов, основных классов неорганических веществ, а также общих закономерностей протекания химических реакций. Условия этих заданий включают описание конкретного химического эксперимента, ход которого экзаменуемые должны отразить посредством уравнений соответствующих реакций.

В таблице 1 представлены сведения о внешнем виде и свойствах некоторых распространенных веществ и соединений, используемых при описании внешних признаков протекания химической реакции.

Таблица 1

**Внешний вид и свойства некоторых  
распространенных веществ и соединений,  
используемые при описании внешних признаков  
протекания химической реакции**

| Группа | Формула вещества | Внешний вид и свойства  |
|--------|------------------|---|
| I      | $H_2$            | Бесцветный газ, легче воздуха, плохо растворим в воде   |
|        | $Cu_2O$          | Темно-красное твердое вещество, нерастворимое в воде, растворяется в кислотах и щелочах   |
|        | $CuO$            | Темно-коричневое твердое вещество, нерастворимое в воде, растворяется в разбавленных кислотах и концентрированных щелочах и гидрате аммиака     |
|        | $Cu(OH)_2$       | Ярко-голубое кристаллическое вещество, нерастворимое в воде, растворяется в разбавленных кислотах и концентрированных щелочах и гидрате аммиака |

*Продолжение таблицы*

| Группа | Формула вещества         | Внешний вид и свойства   |
|--------|--------------------------|--|
|        | $\text{CuS}$             | Вещество черного цвета, нерастворимое в воде, реагирует с сильными кислотами   |
|        | $\text{AgCl}$            | Кристаллическое вещество белого цвета, нерастворимое в воде и кислотах. Реагирует с концентрированными щелочами                          |
|        | $\text{AgBr}$            | Светло-желтое кристаллическое вещество, нерастворимое в воде. Реагирует с концентрированными щелочами и кислотами                        |
|        | $\text{AgI}$             | Желтое кристаллическое вещество, нерастворимое в воде. Разлагается концентрированными кислотами и щелочами                               |
|        | $\text{Ag}_3\text{PO}_4$ | Желтое кристаллическое вещество, нерастворимое в воде. Растворяется в концентрированном растворе аммиака                                 |
| II     | $\text{CaCO}_3$          | Твердое вещество белого цвета, нерастворимое в воде и щелочах. Растворяется в кислотах и переводится в раствор избытком углекислого газа |
|        | $\text{BaSO}_4$          | Белое вещество, нерастворимое в воде, щелочах и кислотах, за исключением концентрированной серной кислоты                                |
|        | $\text{BaCO}_3$          | Вещество белого цвета, нерастворимое в воде, реагирует с кислотами   |
|        | $\text{ZnS}$             | Вещество белого цвета, нерастворимое в воде, реагирует с кислотами   |
| III    | $\text{Al(OH)}_3$        | Вещество белого цвета, термически неустойчивое. Растворяется в кислотах и щелочах  |
| IV     | $\text{CO}_2$            | Бесцветный газ тяжелее воздуха. Не поддерживает дыхание и горение. Не реагирует с кислотами, реагирует со щелочами и гидратом аммиака    |



*Продолжение таблицы*

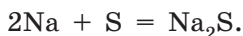
| Группа | Формула вещества | Внешний вид и свойства  |
|--------|------------------|---|
| V      | $N_2$            | Бесцветный газ, плохо растворим в воде. Не реагирует с кислотами и со щелочами                  |
|        | $NH_3$           | Бесцветный газ с характерным резким запахом, хорошо растворим в воде                            |
|        | NO               | Бесцветный газ, плохо растворим в воде, не реагирует с кислотами и со щелочами                  |
|        | $NO_2$           | Бурый газ, хорошо растворимый в воде. Ядовит  |
| VI     | $O_2$            | Бесцветный газ, плохо растворим в воде. Поддерживает дыхание и горение                          |
|        | $O_3$            | Светло-синий газ, плохо растворим в воде. Сильный окислитель. Ядовит                            |
|        | $H_2S$           | Бесцветный газ с запахом тухлых яиц, плохо растворяется в воде, реагирует со щелочами. Ядовит   |
|        | $SO_2$           | Бесцветный газ с резким запахом, хорошо растворяется в воде. Ядовит                             |
|        | $SO_3$           | Белая гигроскопичная жидкость, хорошо растворимая в воде  |
|        | $Cr(OH)_3$       | Серо-зеленое вещество, нерастворимое в воде   |
|        | $K_2CrO_4$       | Желтое вещество, хорошо растворимое в воде  |
|        | $K_2Cr_2O_7$     | Оранжево-красное вещество, хорошо растворимое в воде  |
| VII    | $Cl_2$           | Газ желто-зеленого цвета с характерным запахом, тяжелее воздуха, плохо растворим в воде. Ядовит |

## Окончание таблицы

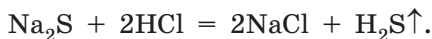
| Группа | Формула вещества  | Внешний вид и свойства  |
|--------|-------------------|---|
|        | $\text{Br}_2$     | Простое вещество бром представляет собой темно-красную тяжелую ядовитую жидкость, мало растворимую в воде |
|        | $\text{I}_2$      | Фиолетово-черное кристаллическое вещество, плохо растворимое в воде. Обладает бактерицидным действием     |
| VIII   | $\text{Fe(OH)}_2$ | Белое термически неустойчивое вещество, нерастворимое в воде  |
|        | $\text{Fe(OH)}_3$ | Бурое вещество, нерастворимое в воде, растворимое в кислотах и концентрированных щелочах                  |

1. Натрий сплавляли с серой. Образовавшееся соединение обработали соляной кислотой, выделившийся газ нацело прореагировал с оксидом серы (IV). Образовавшееся вещество обработали концентрированной азотной кислотой. Напишите уравнения описанных реакций.

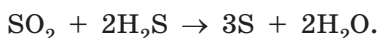
Сплавление натрия с серой приведет к образованию сульфида натрия:



Под действием соляной кислоты произойдет обменная реакция, и сероводород уйдет из сферы реакции:



Взаимодействие сероводорода с оксидом серы (IV) приведет к образованию серы и воды:

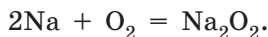


Окисление серы концентрированной азотной кислотой даст серную кислоту, оксид азота (IV) и воду:

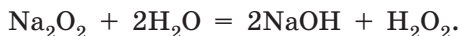


2. Натрий сожгли в избытке кислорода. Образовавшееся вещество обработали водой. Полученную смесь прокипятили, после чего в горячий раствор добавили хлор. Напишите уравнения описанных реакций.

Окисление натрия кислородом воздуха приведет к образованию пероксида натрия:



Под действием воды пероксид натрия превращается в гидроксид натрия и пероксид водорода:



При разложении пероксида водорода образуются вода и кислород:

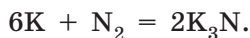


Хлор диспропорционирует в горячей щелочи:

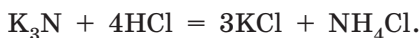


3. Калий нагрели в атмосфере азота. Полученное соединение обработали избытком соляной кислоты, после чего к образовавшейся смеси солей добавили суспензию гидроксида кальция и нагрели. Полученный газ пропустили над раскаленным оксидом меди (II). Напишите уравнения описанных реакций.

Взаимодействие калия с азотом приведет к образованию нитрида калия:



При воздействии на него соляной кислотой образуется смесь солей:



Хлорид аммония взаимодействует с гидроксидом кальция:

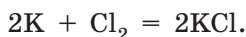


Окисление аммиака на оксиде меди приведет к образованию азота, меди и воды:

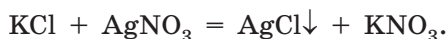


4. Калий сожгли в атмосфере хлора, образовавшуюся соль обработали избытком водного раствора нитрата серебра. Выпавший осадок отфильтровали, фильтрат выпарили и осторожно нагрели. Образовавшуюся соль обработали водным раствором брома. Напишите уравнения описанных реакций.

В результате реакции калия с хлором образуется хлорид калия:



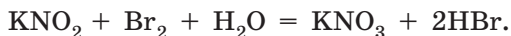
При его взаимодействии с нитратом серебра в осадок выпадет хлорид серебра:



В результате разложения нитрата калия образуется нитрит калия и вода:



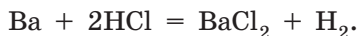
В водной среде бром окислит нитрит калия до нитрата:



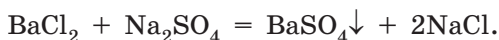
5. Барий растворили в избытке соляной кислоты, к полученному раствору добавили избыток раствора сульфата натрия. Выпавший осадок отфильтровали и прокалили с углем. Образовавшийся газ пропустили над

оксидом железа (III). Напишите уравнения описанных реакций.

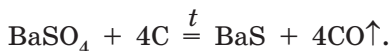
Взаимодействие бария с соляной кислотой даст хлорид бария и водород:



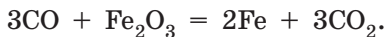
В результате реакции обмена в осадок выпадет сульфат бария:



Под действием кокса сульфат бария восстанавливается до сульфида и выделяется угарный газ:



Оксид углерода (II) восстанавливает оксид железа (III) до железа:

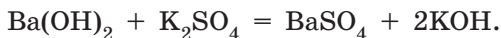


6. Барий растворили в воде. К полученному раствору добавили сульфат калия, выпавший осадок отфильтровали, после чего через горячий фильтрат пропустили газообразный хлор. Реакционную массу выпарили, а затем прокалили до образования одной соли. Напишите уравнения описанных реакций.

Взаимодействие бария с водой приведет к образованию гидроксида бария и выделению водорода:



В результате реакции обмена в осадок выпадает сульфат бария:

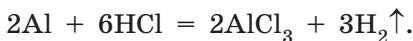


Хлор диспропорционирует в горячей щелочи, а образовавшийся при этом хлорат калия (бертолетова соль) при нагревании переходит в хлорид калия:

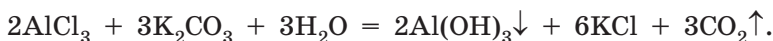


7. Алюминий растворили в соляной кислоте. К полученному раствору добавили избыток раствора карбоната калия. Выпавший осадок растворили в избытке раствора едкого калия, а выделившийся газ пропустили над раскаленным углем. Напишите уравнения описанных реакций.

При взаимодействии алюминия с соляной кислотой выделяется водород и хлорид алюминия:



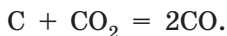
Взаимодействие последнего с карбонатом калия в водной среде (совместный гидролиз) приведет к образованию осадка гидроксида алюминия и выделению углекислого газа:



Гидроксид алюминия растворяется в избытке гидроксида калия с образованием гексагидроксоалюмината калия:

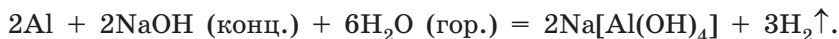


Взаимодействие углекислого газа с раскаленным углем приведет к образованию оксида углерода (II):



8. Алюминий растворили в водном растворе горячего гидроксида натрия. К полученному раствору добавили по каплям разбавленную соляную кислоту до прекращения выделения осадка. Выделившийся в первой реакции газ пропустили над раскаленным оксидом меди (II). Полученное простое вещество растворили в разбавленной азотной кислоте. Напишите уравнения описанных реакций.

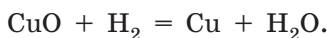
Алюминий взаимодействует с горячим водным раствором едкого натрия с образованием водорода и тетрагидроксоалюмината натрия:



Реакция последнего соединения с соляной кислотой даст осадок гидроксида алюминия:



Водород восстанавливает оксид меди:

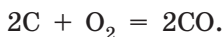


Медь окисляется разбавленной азотной кислотой:

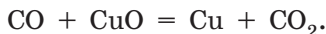


9. Углерод сожгли в недостатке кислорода, образовавшийся газ пропустили над оксидом меди (II). Полученное простое вещество сплавляли с серой, а продукт этой реакции сожгли в кислороде. Напишите уравнения описанных реакций.

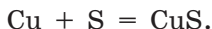
Окисление углерода недостатком кислорода приведет к образованию угарного газа:



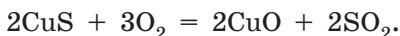
Последний восстановит оксид меди до меди:



Медь при сплавлении с серой даст сульфид меди (II):



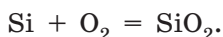
Этот сульфид сгорает в кислороде воздуха с образованием оксида меди (II) и оксида серы (IV):



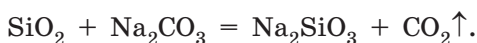
10. Кремний сожгли в кислороде. Продукт реакции сплавляли с карбонатом натрия, образовавшееся вещество об-

работали избытком соляной кислоты при нагревании. Осадок отфильтровали, а к фильтрату добавили раствор нитрата серебра. Напишите уравнения описанных реакций.

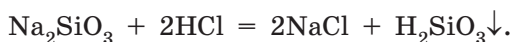
Окисление кремния кислородом воздуха приведет к образованию оксида кремния (IV):



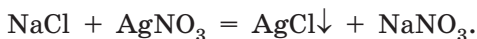
При сплавлении последнего с карбонатом натрия образуется силикат натрия и выделится углекислый газ:



Реакция силиката натрия с соляной кислотой даст гель кремниевой кислоты:

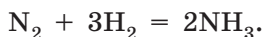


В результате обменной реакции между хлоридом натрия и нитратом серебра выпадает в осадок хлорид серебра:



**11.** Газ, образовавшийся при взаимодействии азота и водорода, разделили на две части. Первую пропустили над раскаленным оксидом меди (II), вторую сожгли в кислороде в присутствии катализатора. Образовавшийся газ в избытке кислорода превратился в газ бурого цвета. Напишите уравнения описанных реакций.

Взаимодействие азота и водорода приводит к образованию аммиака:

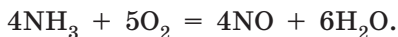


Окисление аммиака на оксиде меди приведет к образованию азота, меди и воды:

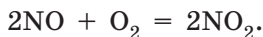


Каталитическое окисление аммиака приведет к образованию оксида азота (II) и воды:



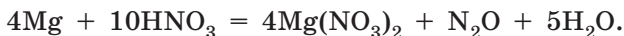


Оксид азота (II) легко окисляется в оксид азота (IV):

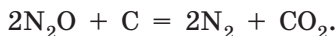


**12.** Разбавленная азотная кислота прореагировала с магнием с выделением бесцветного газа. В его атмосфере сожгли графит с образованием простого и сложного веществ. Простое вещество при нагревании вступило в реакцию с кальцием, а сложное прореагировало с избытком раствора гидроксида натрия. Напишите уравнения описанных реакций.

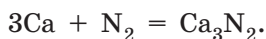
Окисление магния разбавленной азотной кислотой приведет к образованию нитрата магния, оксида азота (I) и воды:



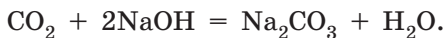
Оксид азота (I) при взаимодействии с углеродом даст азот и углекислый газ:



В результате соединения кальция с азотом образуется нитрид кальция:

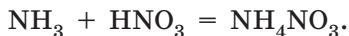


Углекислый газ с избытком гидроксида натрия даст карбонат натрия и воду:

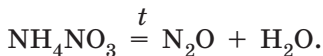


**13.** Аммиак поглотили азотной кислотой, полученную соль нагрели до образования только двух оксидов. Один из них прореагировал с натрием, а второй при высокой температуре прореагировал с медью. Напишите уравнения описанных реакций.

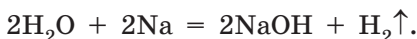
Из аммиака и азотной кислоты образуется нитрат аммония:



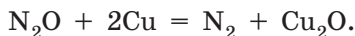
Его разложение при температуре 190 °С даст воду и оксид азота (I):



Взаимодействие натрия с водой приведет к образованию гидроксида натрия и водорода:

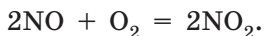


Оксид азота (I) окисляет медь:



**14.** Оксид азота (II) доокислили кислородом. Продукт реакции поглотили раствором гидроксида калия, через полученный раствор пропускали кислород до тех пор, пока в нем не образовалась только одна соль. Напишите уравнения описанных реакций.

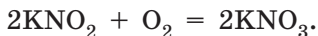
Из оксида азота (II) в реакции с кислородом легко образуется оксид азота (IV):



В растворе щелочи он диспропорционирует с образованием смеси нитрата и нитрита калия:



Последний окисляется кислородом воздуха до нитрата калия:

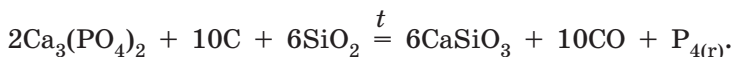


При нагревании нитрат калия разлагается по уравнению:

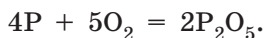


**15.** Фосфат кальция прокалили с песком и углем. Полученное простое вещество сожгли в кислороде, продукт реакции растворили в воде и нейтрализовали гидроксидом натрия. Напишите уравнения описанных реакций.

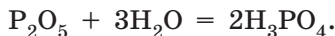
Белый фосфор получают по реакции:



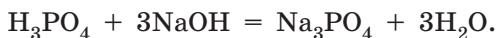
Его окисление кислородом воздуха приводит к оксиду фосфора (V):



Взаимодействие последнего с водой даст фосфорную кислоту:

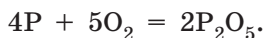


При нейтрализации фосфорной кислоты гидроксидом натрия образуется фосфат натрия:

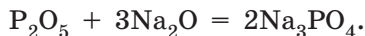


**16.** Фосфор сожгли в избытке кислорода, а образовавшееся вещество сплавляли с оксидом натрия. Полученную соль разделили на две части: первую ввели в реакцию с хлоридом кальция, а вторую — с нитратом серебра. Напишите уравнения описанных реакций.

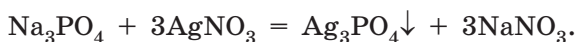
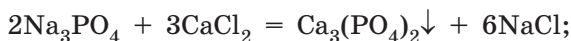
Окисление фосфора кислородом воздуха приводит к оксиду фосфора (V):



При взаимодействии последнего с оксидом натрия образуется фосфат натрия:

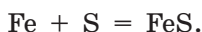


В результате реакции обмена последнего с хлоридом кальция и нитратом серебра соответственно выпадут осадки фосфата кальция и фосфата серебра:

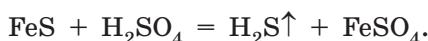


**17.** Железо сплавляли с серой, полученную соль обработали разбавленной серной кислотой. Выделившийся газ сожгли в избытке кислорода, а образовавшееся соединение поглотили раствором гидроксида калия. Напишите уравнения описанных реакций.

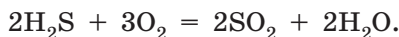
Сплавление железа с серой даст сульфид железа (II):



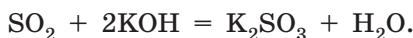
Под действием разбавленной серной кислоты из него выделяется сероводород:



Полное окисление сероводорода даст оксид серы (IV) и воду:



При взаимодействии оксида серы (IV) и гидроксида натрия образуется сульфит натрия и вода:



**18.** Серу сплавляли с алюминием, полученную соль растворили в воде. Выпавший осадок растворили в избытке гидроксида калия, а газ сожгли в избытке кислорода. Напишите уравнения описанных реакций.

Сплавление алюминия с серой даст сульфид алюминия:



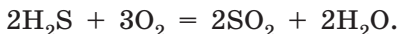
Это соединение разлагается содой до гидроксида алюминия и сероводорода:



В избытке гидроксида калия образуется гексагидроксоалюминат калия:



Сгорание сероводорода в кислороде воздуха можно описать уравнением:

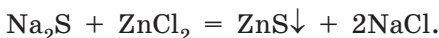


**19.** Серу растворили в кипящем растворе гидроксида натрия. К полученному раствору добавили хлорид цинка, выпавший осадок отфильтровали и сожгли в кислороде. Образовавшийся при этом газ прореагировал с сероводородом. Напишите уравнения описанных реакций.

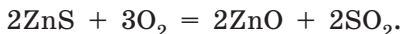
Сера диспропорционирует в кипящей щелочи с образованием сульфида натрия, сульфита натрия и воды:



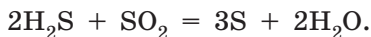
В результате реакции обмена между сульфидом натрия и хлоридом цинка в осадок выпадает сульфид цинка:



Окисление последнего даст оксид цинка и оксид серы (IV):

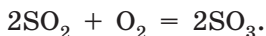


Взаимодействие последнего с сероводородом даст серу и воду:

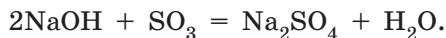


**20.** Оксид серы (IV) окислили кислородом в присутствии катализатора. Образовавшееся вещество поглотили избытком гидроксида натрия, а к полученному раствору добавили раствор хлорида бария. Выпавший осадок отфильтровали и прокалили с коксом. Напишите уравнения описанных реакций.

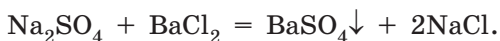
Оксид серы (IV) в присутствии катализатора окисляется в оксид серы (VI):



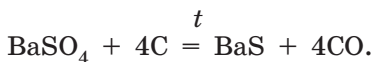
Его взаимодействие с избытком гидроксида натрия приведет к сульфату натрия и воде:



Реакция обмена с хлоридом бария даст сульфат бария и хлорид натрия:

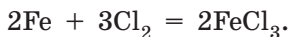


Сульфат бария восстанавливается углеродом:



**21.** Железо сожгли в атмосфере хлора. Полученную соль растворили в воде и добавили к ней раствор йодида калия. Выпавший осадок простого вещества отделили и разделили на две части. Первую обработали разбавленной азотной кислотой, а вторую нагрели в атмосфере водорода. Напишите уравнения описанных реакций.

Взаимодействие железа с хлором даст хлорид железа (III):



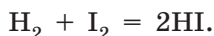
Взаимодействие последнего с йодидом калия является окислительно-восстановительным процессом, в результате которого выделится йод:



Окисление йода разбавленной азотной кислотой можно описать уравнением:

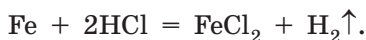


В результате соединения йода и водорода образуется йодоводород:

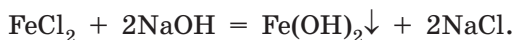


**22.** Железо растворили в соляной кислоте, к полученному раствору добавили гидроксид натрия до прекращения выделения осадка. В полученную реакцию массу вначале пропустили кислород, а затем добавили избыток йодоводородной кислоты до прекращения выделения осадка. Напишите уравнения описанных реакций.

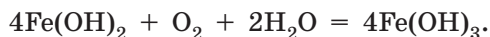
Железо вытесняет водород из раствора соляной кислоты, при этом образуется хлорид железа (II):



Последний вступает в реакцию обмена с гидроксидом натрия:



Гидроксид железа (II) легко окисляется кислородом в водной среде:

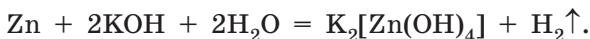


Гидроксид железа (III) вступает в окислительно-восстановительную реакцию с йодоводородом:



- 23.** Цинк растворили в растворе гидроксида калия. Выделившийся газ прореагировал с литием, а к полученному раствору по каплям добавляли соляную кислоту до прекращения выделения осадка. Его отфильтровали и прокалили. Напишите уравнения описанных реакций.

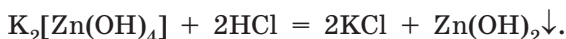
Взаимодействие цинка с водным раствором гидроксида калия протекает по уравнению:



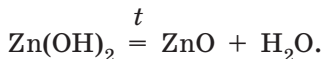
Из водорода и лития образуется гидрид лития:



При взаимодействии тетрагидроксоцинката калия и соляной кислоты в соотношении 1:2 выпадает осадок гидроксида цинка:

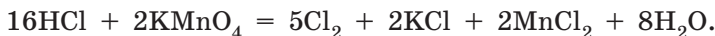


Последний разлагается при нагревании:

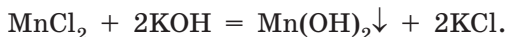


- 24.** Перманганат калия обработали избытком раствора соляной кислоты, образовался раствор, и выделился газ. Раствор разделили на две части: к первой добавили гидроксид калия, а ко второй — нитрат серебра. Выделившийся газ прореагировал с раствором гидроксида калия при охлаждении. Напишите уравнения описанных реакций.

Перманганат калия окисляет хлороводород:

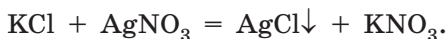


При взаимодействии хлорида марганца (II) с гидроксидом калия в осадок выпадает гидроксид марганца (II):





Хлорид калия вступает в реакцию обмена с нитратом серебра:

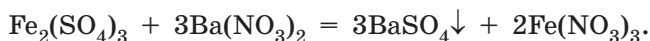


Хлор диспропорционирует в растворе гидроксида калия:

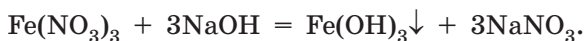


**25.** Осадок, полученный при взаимодействии растворов сульфата железа (III) и нитрата бария, отфильтровали. Фильтрат обработали избытком едкого натрия. Выпавший осадок отделили и прокалили. Полученное вещество обработали избытком раствора соляной кислоты. Напишите уравнения описанных реакций.

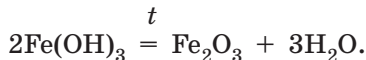
Взаимодействие сульфата железа (III) с нитратом бария приведет к выпадению осадка сульфата бария и образованию нитрата железа (III):



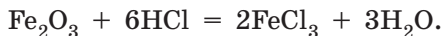
Нитрат железа (III) вступает в реакцию с гидроксидом натрия с образованием гидроксида железа (III) и нитрата натрия:



При нагревании гидроксид железа (III) теряет воду и превращается в оксид железа (III):

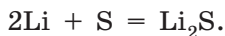


Последний представляет собой амфотерный оксид с преобладанием основных свойств. Поэтому он будет взаимодействовать с кислотой с образованием соответствующей соли и воды:

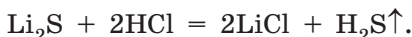


**26.** Литий сплавляли с серой. Полученную соль обработали разбавленной соляной кислотой, при этом выделился газ с запахом тухлых яиц. Этот газ сожгли в избытке кислорода, при этом выделился газ с характерным резким запахом. При пропускании этого газа в избыток гидроксида натрия образовалась средняя соль. Напишите уравнения описанных реакций.

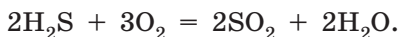
При сплавлении лития с серой образуется сульфид лития:



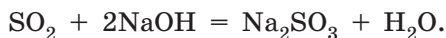
Эта соль разлагается соляной кислотой с образованием сероводорода:



Последний сгорает в кислороде с образованием оксида серы (IV) и воды:



Оксид серы (IV) как кислотный оксид реагирует с избытком гидроксида натрия с образованием средней соли и воды:

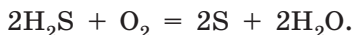


**27.** Нитрат калия подвергли термическому разложению. Выделившийся газ на свету пропустили через насыщенный раствор сероводорода в воде. Выпавшее вещество желтого цвета сплавляли с железом, а полученную соль обработали разбавленной соляной кислотой. Напишите уравнения описанных реакций.

При термическом разложении нитрата калия образуется нитрит калия и выделяется кислород:



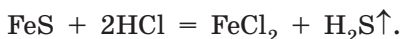
Раствор сероводорода в воде контролируемо окисляется кислородом из воздуха с образованием серы и воды:



При сплавлении серы с железом образуется сульфид железа (II):

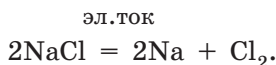


Разложение последнего соляной кислотой приведет к образованию хлорида железа (II) и выделению сероводорода:

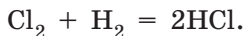


**28.** Расплав хлорида натрия подвергли электролизу. Газ, выделившийся на аноде, прореагировал с водородом с образованием нового газообразного вещества с характерным резким запахом. Его растворили в воде и обрабатывали расчетным количеством перманганата калия, при этом образовался газ желто-зеленого цвета. Это вещество вступает при охлаждении в реакцию с гидроксидом натрия. Напишите уравнения описанных реакций.

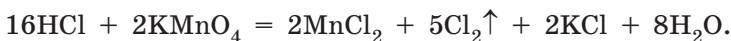
При электролизе расплава хлорида натрия образуются натрий и хлор:



При взаимодействии хлора и водорода образуется хлороводород:



Его водный раствор — соляная кислота — окисляется перманганатом калия до хлора:

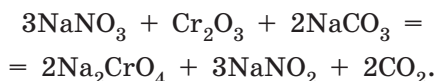


Хлор диспропорционирует в холодной щелочи с образованием смеси солей хлорида и хлорида натрия:

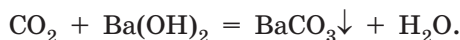


**29.** Нитрат натрия сплавляли с оксидом хрома в присутствии карбоната натрия. Выделившийся при этом газ прореагировал с избытком раствора гидроксида бария с выпадением осадка белого цвета. Осадок растворили в избытке раствора соляной кислоты и в полученный раствор добавили нитрат серебра до прекращения выделения осадка. Напишите уравнения описанных реакций.

Сплавление нитрата натрия с оксидом хрома (III) в присутствии карбоната натрия приведет к образованию хромата натрия:



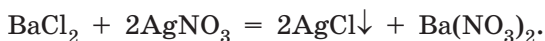
Выделившийся при этом углекислый газ поглощен избытком гидроксида бария с образованием карбоната бария:



Карбонат бария разлагается соляной кислотой с образованием углекислого газа, воды и хлорида бария:

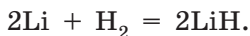


Хлорид бария вступает в обменную реакцию с нитратом серебра:

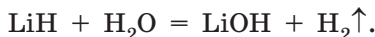


**30.** Литий прореагировал с водородом. Продукт реакции растворили в воде, при этом образовался газ, реагирующий с бромом, а полученный раствор при нагревании прореагировал с хлором с образованием смеси двух солей. Напишите уравнения описанных реакций.

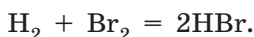
Реакция лития с водородом происходит при небольшом нагревании:



Образовавшийся при этом гидроксид лития реагирует с водой с образованием гидроксида лития и выделением водорода:



Выделившийся при этом водород вступает в реакцию с бромом с образованием бромоводорода:

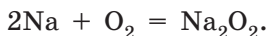


Хлор вступает в реакцию диспропорционирования с гидроксидом лития с образованием хлорида и хлората лития:

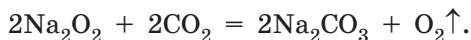


**31.** Натрий сожгли на воздухе. Образовавшееся при этом твердое вещество поглощает углекислый газ с выделением кислорода и соли. Последнюю соль растворили в соляной кислоте, а к полученному при этом раствору добавили раствор нитрата серебра. При этом выпал белый творожистый осадок. Напишите уравнения описанных реакций.

При окислении натрия кислородом образуется пероксид натрия:



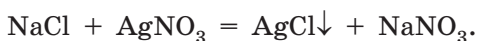
Взаимодействие последнего с углекислым газом приведет к образованию карбоната натрия и кислорода:



Карбонат натрия разлагается соляной кислотой с образованием хлорида натрия, углекислого газа и воды:

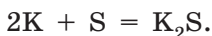


Взаимодействие хлорида натрия с нитратом серебра приведет к выделению осадка нитрата серебра:

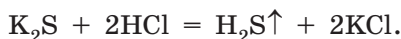


**32.** Калий сплавляли с серой. Полученную соль обработали соляной кислотой. Выделившийся при этом газ пропустили через раствор бихромата калия в серной кислоте. Выпавшее вещество желтого цвета отфильтровали и сплавляли с алюминием. Напишите уравнения описанных реакций.

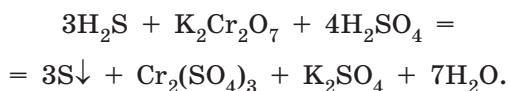
Взаимодействие калия с серой приводит к образованию сульфида калия:



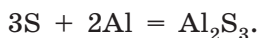
Под действием соляной кислоты сульфид калия разлагается с выделением газообразного сероводорода:



Окисление сероводорода в кислой среде приведет к выделению серы:



При сплавлении серы с алюминием образуется сульфид алюминия:

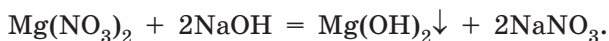


**33.** Магний растворили в разбавленной азотной кислоте. К полученному раствору последовательно добавили гидроксид натрия, бромоводородную кислоту, фосфат натрия. Напишите уравнения описанных реакций.

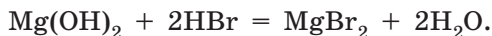
Окисление магния азотной кислотой приводит к образованию нитрата магния, оксида азота (I) и воды:



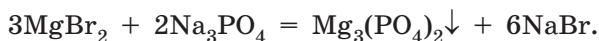
Из всех компонентов реакционной массы только нитрат магния способен к реакции с гидроксидом натрия; при этом выделяется осадок гидроксида магния:



Последний вступает в реакцию нейтрализации с бромоводородной кислотой:

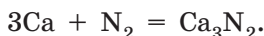


В результате обменной реакции бромида магния с фосфатом натрия выпадает осадок фосфата магния:



**34.** Кальций сожгли в атмосфере азота. Полученную соль разложили кипящей водой. Выделившийся газ сожгли в кислороде в присутствии катализатора, а к суспензии прибавили раствор соляной кислоты. Напишите уравнения описанных реакций.

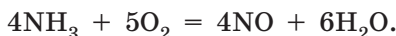
Кальций реагирует с азотом с образованием нитрида кальция:



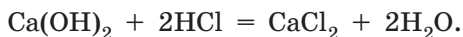
Под действием воды последнее соединение переходит в гидроксид кальция и аммиак:



Окисление аммиака кислородом в присутствии катализатора приведет к образованию оксида азота (II):



Гидроксид кальция вступает с соляной кислотой в реакцию нейтрализации:



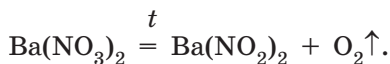
**35.** Барий растворили в разбавленной азотной кислоте, при этом выделился бесцветный газ — несолеобразующий оксид. Полученный раствор разделили на три части. Первую выпарили досуха, полученный осадок прокалили. Ко второй части добавили раствор сульфата натрия до

прекращения выделения осадка; к третьей добавили раствор карбоната натрия. Напишите уравнения описанных реакций.

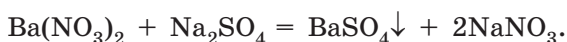
При окислении бария азотной кислотой выделяется нитрат бария, оксид азота (I) и вода:



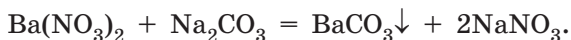
Термическое разложение нитрата бария приводит к образованию нитрита бария и кислорода:



В результате обменной реакции нитрата бария с сульфатом натрия сульфат бария выпадет в осадок:

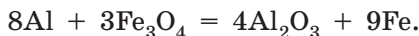


Взаимодействие карбоната натрия с нитратом бария пойдет до конца, поскольку в осадок выпадет карбонат бария:



**36.** Алюминий вступил в реакцию с  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Полученную смесь веществ растворили в концентрированном растворе гидроксида натрия и отфильтровали. Твердое вещество сожгли в атмосфере хлора, а фильтрат обработали концентрированным раствором хлорида алюминия. Напишите уравнения описанных реакций.

В результате первой реакции образуется оксид алюминия и железо:

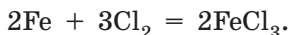


Из этой смеси веществ с концентрированным раствором гидроксида натрия будет реагировать оксид алюминия:

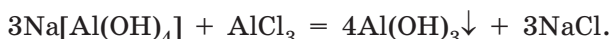




Твердый остаток представляет собой железо, которое при взаимодействии с хлором дает хлорид железа (III):

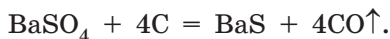


Взаимодействие тетрагидроксоалюмината натрия с хлоридом алюминия приведет к образованию гидроксида алюминия и хлорида натрия:

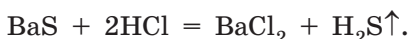


**37.** Сульфат бария сплавляли с коксом. Твердый остаток растворили в соляной кислоте, выделившийся газ вступил в реакцию с оксидом серы (IV), а раствор — с сульфитом натрия. Напишите уравнения описанных реакций.

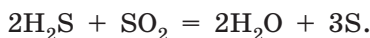
Углерод восстанавливает сульфат бария до сульфида:



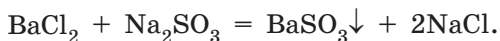
Последний реагирует с соляной кислотой с образованием сероводорода:



Взаимодействие сероводорода с оксидом серы (IV) дает серу и воду:

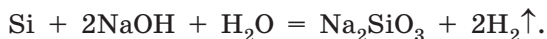


Хлорид бария вступает в обменную реакцию с сульфитом натрия

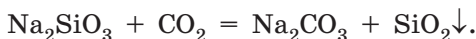


**38.** Кремний растворили в концентрированном растворе гидроксида натрия. Через полученный раствор пропустили углекислый газ. Выпавший осадок отфильтровали, высушили и разделили на две части. Первую растворили в плавиковой кислоте, вторую сплавляли с магнием. Напишите уравнения описанных реакций.

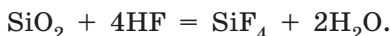
Кремний реагирует с концентрированным раствором гидроксида натрия с образованием силиката натрия и выделением водорода:



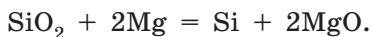
Под действием углекислого газа силикат натрия переходит в карбонат натрия и оксид кремния:



Оксид кремния реагирует с фтороводородом с образованием фторида кремния и воды:

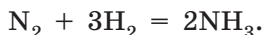


Оксид кремния реагирует с магнием с образованием кремния и оксида магния:

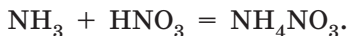


**39.** Азот при нагревании на катализаторе прореагировал с водородом. Полученный газ поглотили раствором азотной кислоты, выпарили досуха и полученное кристаллическое вещество разделили на две части. Первую разложили при температуре 190—240 °С, при этом образовался только один газ и водяные пары. Вторую часть нагрели с концентрированным раствором едкого натра. Напишите уравнения описанных реакций.

При взаимодействии азота и водорода образуется аммиак:



Его реакция с азотной кислотой приведет к образованию нитрата аммония:



Разложение нитрата аммония может протекать по нескольким направлениям, но только в одном из них образуется не смесь оксидов азота, а единственный его оксид:



При взаимодействии гидроксида натрия и нитрата аммония образуются нитрат натрия, аммиак и вода:



**40.** Красный фосфор окислили кипящей азотной кислотой. Выделившийся при этом газ поглотили раствором гидроксида калия. Продукт окисления в первой реакции нейтрализовали гидроксидом натрия, а к образовавшейся реакционной массе по каплям добавили раствор хлорида кальция до прекращения выделения осадка. Напишите уравнения описанных реакций.

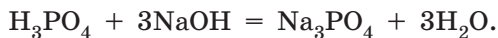
Азотная кислота окисляет фосфор до фосфорной кислоты; при этом также образуется оксид азота (IV) и вода:



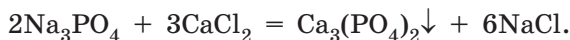
Оксид азота (IV) диспропорционирует в растворе гидроксида калия:



Фосфорная кислота вступает в реакцию нейтрализации с гидроксидом натрия:



При взаимодействии фосфата натрия и хлорида кальция образуется фосфат кальция и хлорид натрия:

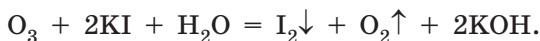


**41.** Кислород подвергли воздействию электроразряда в озонаторе. Полученный газ пропустили через водный раствор йодида калия, при этом выделился новый газ без цвета и запаха, поддерживающий горение и дыхание. В атмосфере последнего газа сожгли натрий, а полученное при этом твердое вещество прореагировало с углекислым газом. Напишите уравнения описанных реакций.

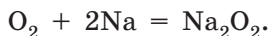
Кислород обратимо превращается в озон:



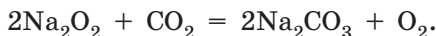
При реакции последнего с йодидом калия образуются йод, кислород и гидроксид калия:



Натрий окисляется кислородом воздуха до пероксида натрия:



Взаимодействие последнего с углекислым газом приведет к образованию карбоната натрия и кислорода:

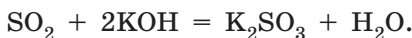


**42.** Концентрированная серная кислота прореагировала с медью. Выделившийся при этом газ полностью поглотили избытком раствора гидроксида калия. Продукт окисления меди смешали с расчетным количеством гидроксида натрия до прекращения выделения осадка. Последний растворили в избытке соляной кислоты. Напишите уравнения описанных реакций.

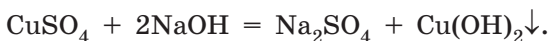
При окислении меди концентрированной серной кислотой образуются сульфат меди (II), оксид серы (IV) и вода:



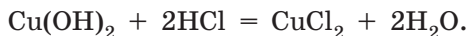
Оксид серы (IV) реагирует с гидроксидом калия с образованием средней соли:



При взаимодействии сульфата меди (II) с гидроксидом натрия при соотношении 1 : 2 выпадает осадок гидроксида меди (II):

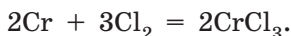


Последнее соединение вступает в реакцию нейтрализации с соляной кислотой:

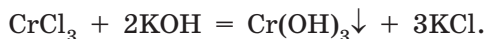


**43.** Хром сожгли в атмосфере хлора. К образовавшейся соли добавили по каплям гидроксид калия до прекращения выделения осадка. Полученный осадок окислили перекисью водорода в среде едкого калия и упарили. К полученному твердому остатку добавили избыток горячего раствора концентрированной соляной кислоты. Напишите уравнения описанных реакций.

Хром сгорает в атмосфере хлора с образованием хлорида хрома (III):



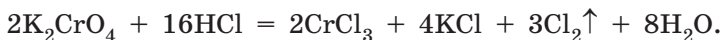
При взаимодействии этого соединения с гидроксидом калия выпадает осадок гидроксида хрома (III):



Окисление гидроксида хрома (III) пероксидом водорода в щелочной среде протекает по следующему уравнению:



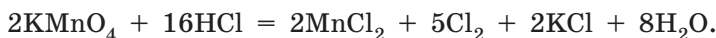
Хромат калия способен разлагаться разбавленными кислотами с образованием бихроматов, а с концентрированной горячей соляной кислотой вступает в окислительно-восстановительную реакцию:



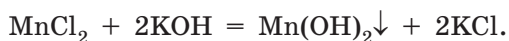
**44.** Перманганат калия обработали концентрированной горячей соляной кислотой. Выделившийся при этом газ собрали, а к реакционной массе по каплям прибавили раствор гидроксида калия до прекращения выделения

осадка. Собранный газ пропустили через горячий раствор гидроксида калия, при этом образовалась смесь двух солей. Раствор выпарили, твердый остаток прокалили в присутствии катализатора, после чего в твердом остатке осталась одна соль. Напишите уравнения описанных реакций.

Перманганат калия окисляет соляную кислоту до хлора. При этом продуктом восстановления является хлорид марганца (II):



Именно хлорид марганца (II) вступает в реакцию с гидроксидом калия:



При диспропорционировании хлора в горячей щелочи образуется смесь хлорида и хлората калия:



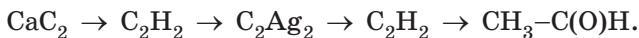
После испарения воды и нагревании выше температуры плавления хлорат калия разлагается по различным направлениям. В присутствии катализатора продуктами разложения являются кислород и хлорид калия:



## **РЕАКЦИИ, ПОДТВЕРЖДАЮЩИЕ ВЗАИМОСВЯЗЬ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ**

При ответе на данные задания необходимо использовать знания основ органической химии. Именно за решения подобного рода цепочек превращений можно набрать максимальное число баллов на ЕГЭ.

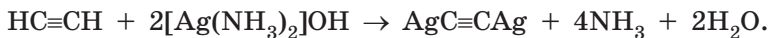
1. Напишите уравнения реакций, с помощью которых можно осуществить превращения:



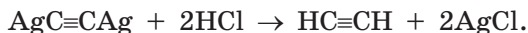
Реакция карбида кальция с водой приведет к образованию ацетилена и гидроксида кальция:



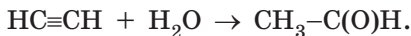
Взаимодействие ацетилена и аммиачного раствора оксида серебра даст ацетелинид серебра:



Под действием хлороводорода ацетелинид серебра превратится в ацетилен:



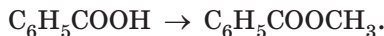
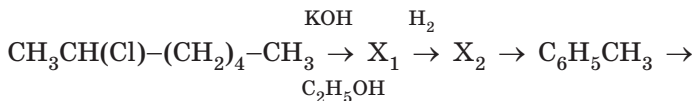
Гидратация ацетилена в присутствии солей ртути (реакция Кучерова) приведет к уксусному альдегиду:



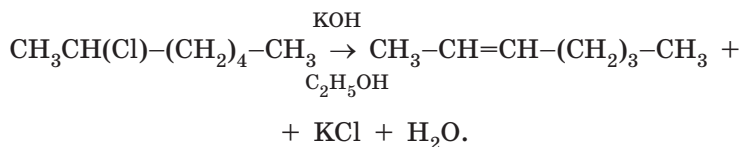
Реакция последнего с избытком метилового спирта даст ацеталь:



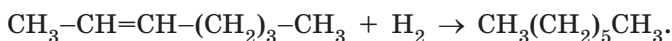
2. Напишите уравнения реакций, с помощью которых можно осуществить превращения:



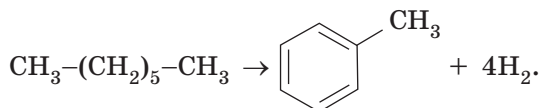
Дегидрогалогенирование 2-хлоргептана в спиртовой среде приведет к гептену-2:



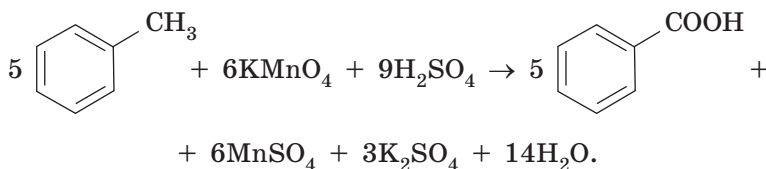
Гидрирование гептена-2 в присутствии катализатора даст н-гептан:



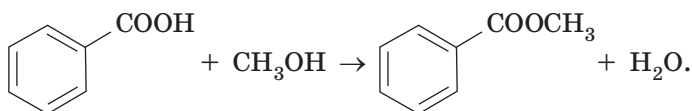
При повышенной температуре и в присутствии катализатора из н-гептана образуется толуол и выделяется водород:



Окисление толуола перманганатом калия в кислой среде приведет к бензойной кислоте:

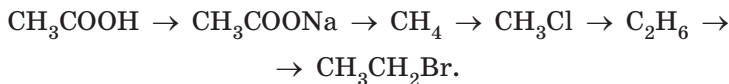


В результате ее этерификации образуется метиловый эфир бензойной кислоты и вода:

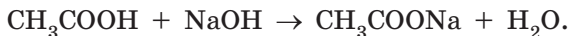


3. Напишите уравнения реакций, с помощью которых можно осуществить превращения:

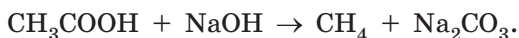




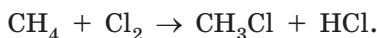
Нейтрализация уксусной кислоты гидроксидом натрия приведет к ацетату натрия:



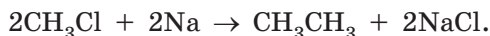
Реакция ацетата натрия с гидроксидом натрия при нагревании даст метан и карбонат натрия:



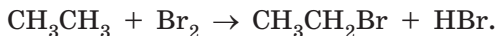
Хлорирование метана приведет к образованию хлористого метила:



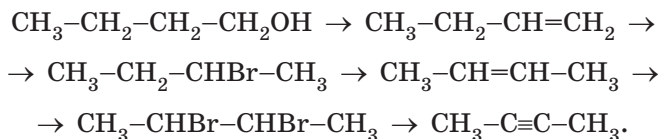
Хлористый метил вступает в реакцию Вюрца с образованием этана:



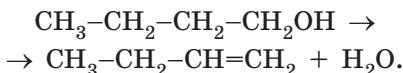
Бромирование последнего даст бромистый этил:



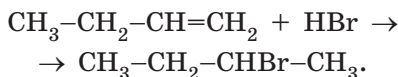
4. Напишите уравнения реакций, с помощью которых можно осуществить превращения:



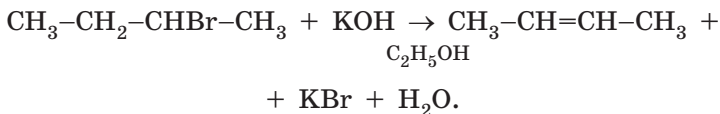
Каталитическая дегидратация бутанола-1 при повышенной температуре приведет к бутену-1:



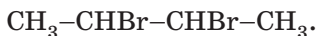
Взаимодействие бутена-1 с бромоводородом даст 2-бромбутан:



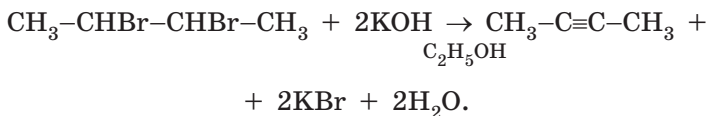
Реакция 2-бромбутана со спиртовым раствором щелочи приведет к бутену-2:



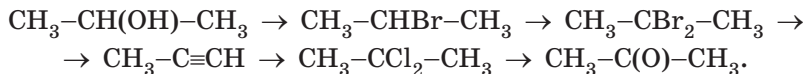
Бромирование бутена-2 даст 2,3-дибромбутан:



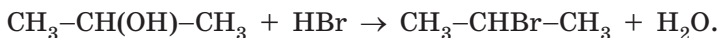
Обработка последнего избытком спиртового раствора щелочи даст бутин-2:



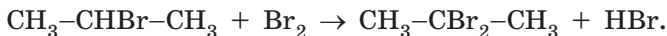
5. Напишите уравнения реакций, с помощью которых можно осуществить превращения:



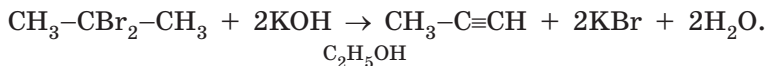
Взаимодействие пропанола-2 с избытком бромоводорода приведет к 2-бромпропану:



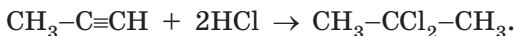
Бромирование 2-бромпропана даст 2,2-дибромпропан и бромоводород:



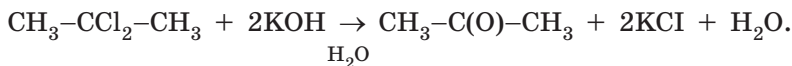
Под действием спиртового раствора щелочи 2,2-дибромпропан переходит в пропин:



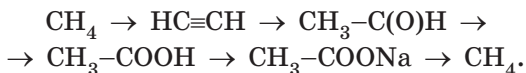
Из пропина и хлороводорода в четыреххлористом углероде образуется 2,2-дихлорпропан:



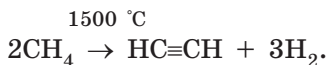
Реакция 2,2-дихлорпропана с водным раствором щелочи приведет к ацетону:



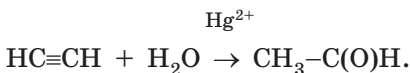
6. Напишите уравнения реакций, с помощью которых можно осуществить превращения:



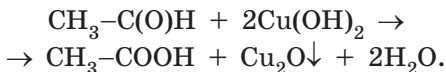
Термолиз метана при 1500 °С приведет к образованию ацетилена:



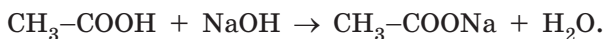
Ацетальдегид образуется из ацетилена по реакции Кучерова:



Окисление ацетальдегида раствором гидроксида меди даст уксусную кислоту:



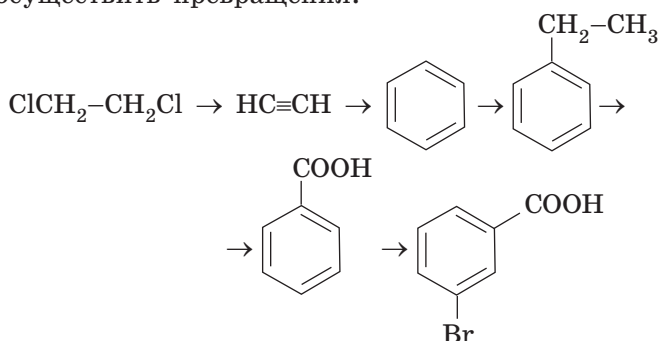
Нейтрализация уксусной кислоты гидроксидом натрия приведет к ацетату натрия:



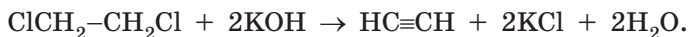
Нагревание ацетата натрия с гидроксидом натрия даст метан и карбонат натрия:



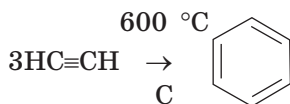
7. Напишите уравнения реакций, с помощью которых можно осуществить превращения:



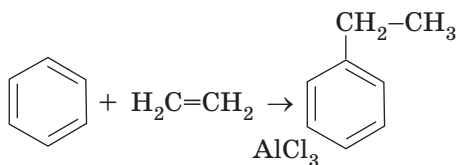
При взаимодействии 1,2-дихлорэтана со спиртовым раствором щелочи образуется ацетилен:



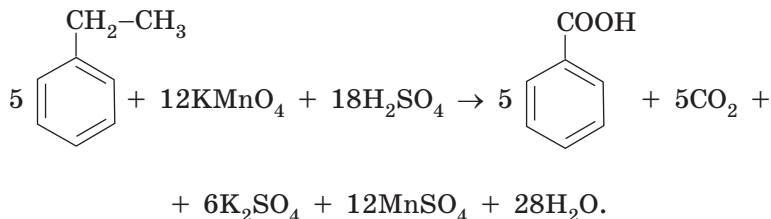
Тримеризация ацетилена при 600–650 °С на активированном угле даст бензол:



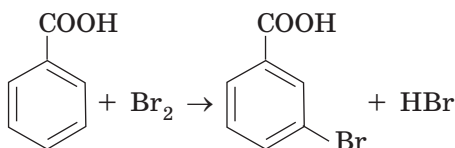
Алкилирование бензола этиленом приведет к образованию этилбензола:



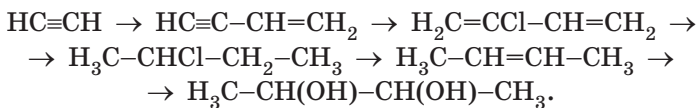
Окисление этилбензола перманганатом калия в кислой среде даст бензойную кислоту:



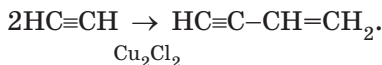
При бромировании бензойной кислоты образуется 3-бром-бензойная кислота:



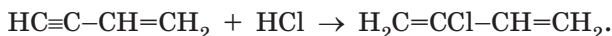
8. Напишите уравнения реакций, с помощью которых можно осуществить превращения:



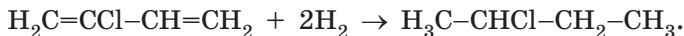
Димеризация ацетилена приведет к образованию винил-ацетилена:



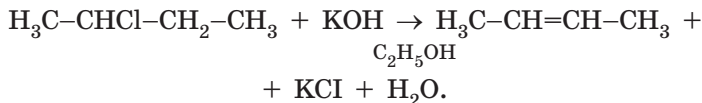
При взаимодействии винилацетилена и хлороводорода образуется хлоропрен:



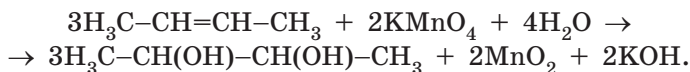
Каталитическое гидрирование хлоропрена даст 2-хлорбутан:



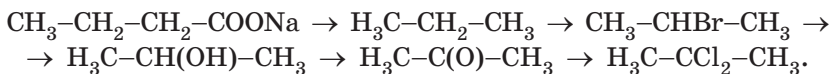
В результате реакции 2-хлорбутана со спиртовым раствором щелочи образуется бутен-2:



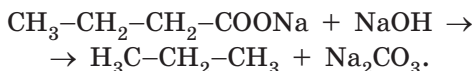
Окисление бутена-2 перманганатом калия в нейтральной среде приведет к образованию бутандиола-2,3:



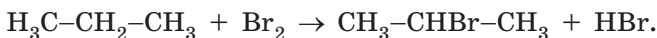
9. Напишите уравнения реакций, с помощью которых можно осуществить превращения:



Декарбоксилирование бутирата натрия приведет к пропану:

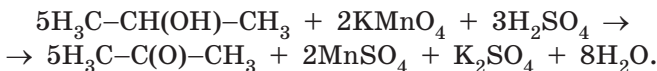


При бромировании пропана эквимольным количеством брома образуется 2-бромпропан:

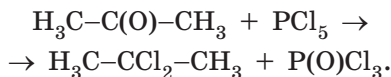


При взаимодействии 2-бромпропана с водным раствором гидроксида калия образуется пропанол-2:  $\text{CH}_3-\text{CHBr}-\text{CH}_3 + \text{KOH} \xrightarrow{\text{H}_2\text{O}} \text{H}_3\text{C}-\text{CH}(\text{OH})-\text{CH}_3 + \text{KBr}.$

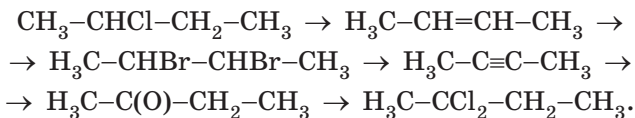
Окисление пропанола-2 перманганатом калия в кислой среде приведет к образованию ацетона:



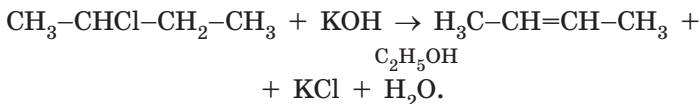
Реакция ацетона с хлоридом фосфора (V) даст 2,2-дихлорпропан:



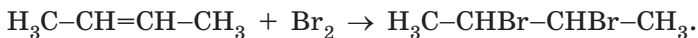
10. Напишите уравнения реакций, с помощью которых можно осуществить превращения:



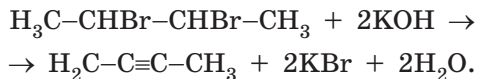
Дегидрохлорирование 2-хлорбутана в спиртовом растворе щелочи даст бутен-2:



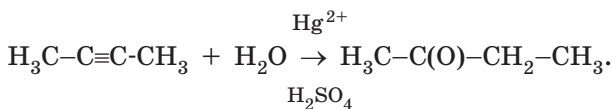
Взаимодействие бутена-2 с бромной водой или раствором брома в четыреххлористом углероде приведет к образованию 2,3-дибромбутана:



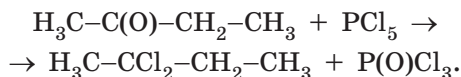
Из последнего под действием спиртового раствора щелочи образуется бутин-2:



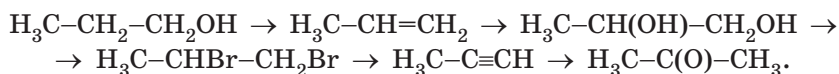
Гидратация бутина-2 приведет к образованию бутанона-2:



При взаимодействии последнего соединения с хлоридом фосфора (V) образуется 2,2-дихлорбутан:



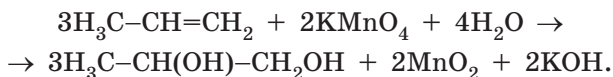
11. Напишите уравнения реакций, с помощью которых можно осуществить превращения:



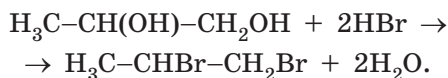
Дегидратация пропанола приведет к образованию пропена:



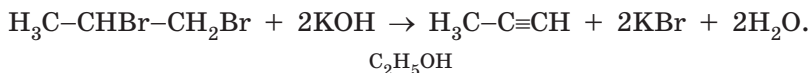
Окисление пропена перманганатом калия (реакция Вагнера) даст пропандиол-1,2:



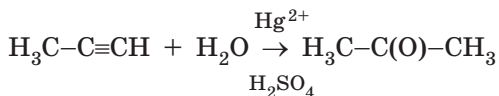
Под действием избытка бромоводорода это соединение перейдет в 1,2-дибромпропан:



Из 1,2-дибромпропана действием спиртового раствора щелочи можно получить пропин:

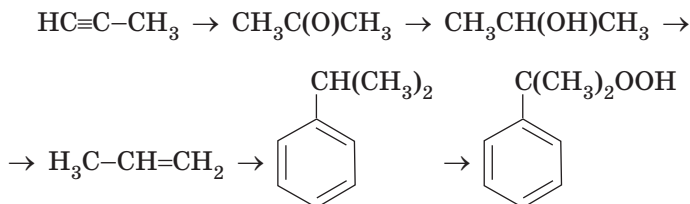


Взаимодействие пропина с водой (реакция Кучерова) приведет к образованию ацетона:

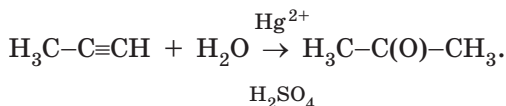




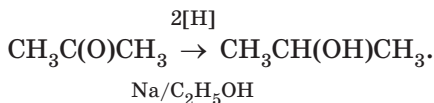
**12.** Напишите уравнения реакций, с помощью которых можно осуществить превращения:



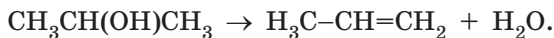
Гидратация пропина в присутствии солей ртути (реакция Кучерова) приведет к ацетону:



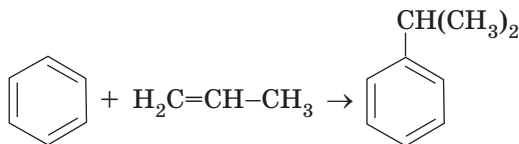
Восстановление ацетона алюмогидридом лития или натрием в этиловом спирте даст изопропиловый спирт:



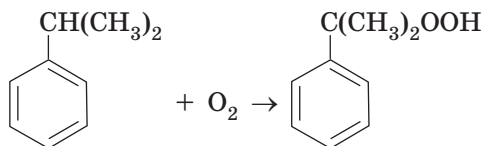
Дегидратация последнего приведет к пропену:



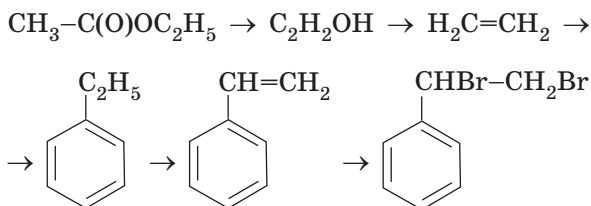
Алкилирование бензола пропеном даст изопропилбензол (кумол):



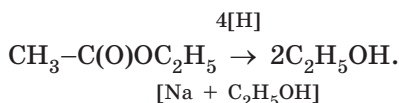
Окислением последнего может быть получена гидроперекись изопропилбензола:



13. Напишите уравнения реакций, с помощью которых можно осуществить превращения:



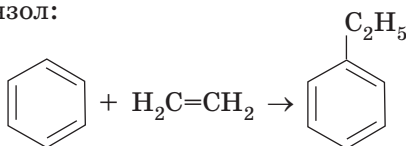
Восстановление этилацетата натрием в этаноле (восстановление по Буво — Блану) приведет к образованию этилового спирта:



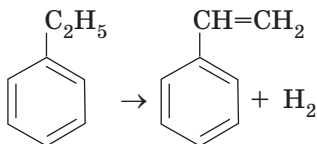
Дегидратация этанола даст этен:



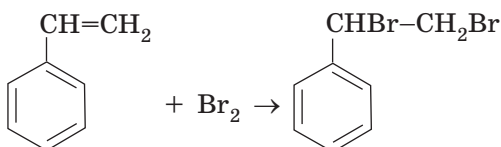
При каталитическом алкилировании бензола этеном образуется этилбензол:



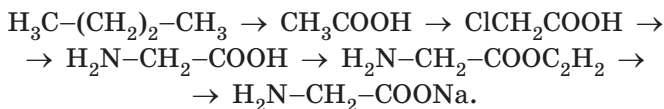
Дегидрированием последнего можно получить стирол:



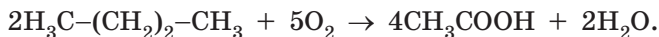
В результате бромирования стирола образуется 1,2-дибром-этилбензол:



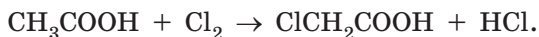
**14.** Напишите уравнения реакций, с помощью которых можно осуществить превращения:



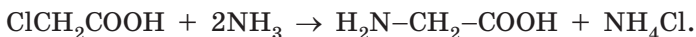
Каталитическое окисление бутана приведет к образованию уксусной кислоты:



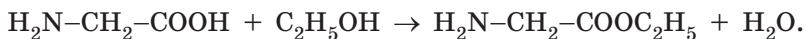
При каталитическом хлорировании уксусной кислоты образуется хлоруксусная кислота:



Из хлоруксусной кислоты и аммиака образуется аминоксусная кислота:



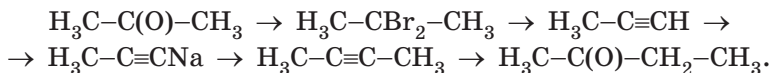
Этерификация аминоксусной кислоты даст этиловый эфир аминоксусной кислоты:



Щелочной гидролиз последнего приведет к натриевой соли аминоксусной кислоты:



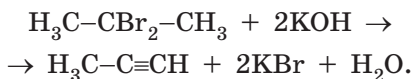
**15.** Напишите уравнения реакций, с помощью которых можно осуществить превращения:



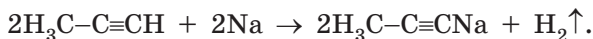
2,2-дибромпропан образуется при взаимодействии ацетона и бромиды фосфора (V):



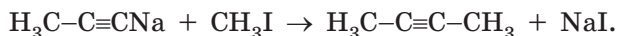
Взаимодействие 2,2-дибромпропана со спиртовым раствором щелочи приведет к пропину:



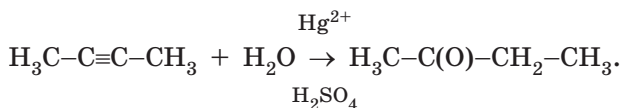
При взаимодействии последнего соединения с натрием образуется соль и водород:



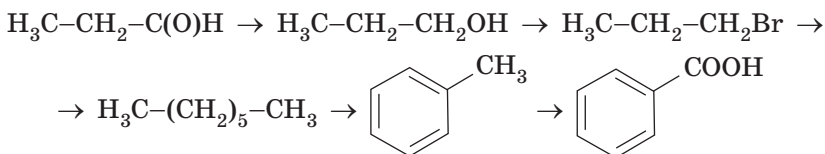
Реакция пропинида натрия с йодметаном приведет к образованию бутина-2:



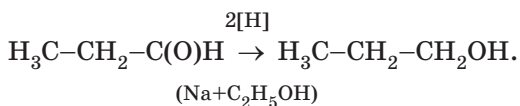
В условиях реакции Кучерова из бутина-2 образуется бутанон-2:



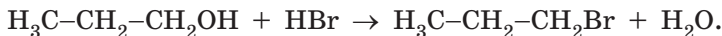
**16.** Напишите уравнения реакций, с помощью которых можно осуществить превращения:



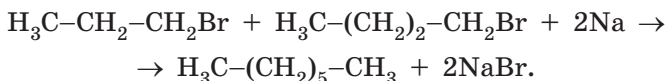
Восстановление пропаналью алюмогидридом лития или натрием в спирте приведет к пропанолу-1:



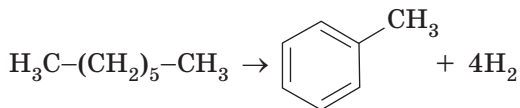
Под действием избытка бромоводорода пропанол-1 перейдет в 1-бромпропан:



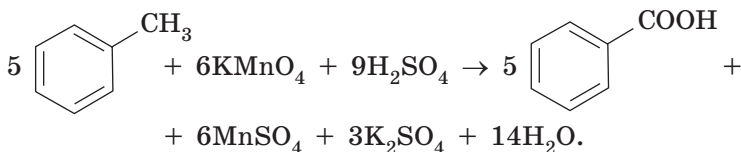
Взаимодействие 1-бромпропана с 1-бромбутаном и натрием (реакция Вюрца) приведет к образованию н-гептана. Одновременно в качестве побочных продуктов будут образовываться гексан и октан:



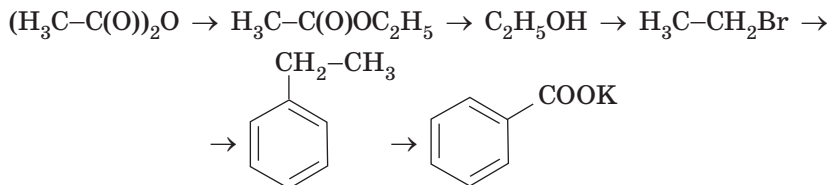
При нагревании в присутствии катализаторов н-гептан переходит в толуол:



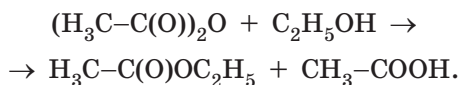
Окисление толуола перманганатом калия в кислой среде даст бензойную кислоту:



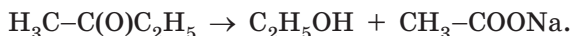
17. Напишите уравнения реакций, с помощью которых можно осуществить превращения:



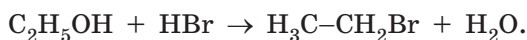
Ангидрид уксусной кислоты реагирует с этиловым спиртом с образованием этилацетата и уксусной кислоты:



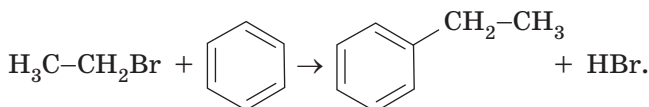
Щелочной гидролиз этилацетата приведет к образованию этанола и ацетата натрия:



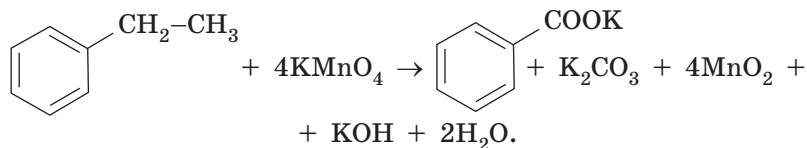
Под действием избытка бромоводорода этанол переходит в бромэтан:



Алкилирование бензола бромэтаном в присутствии бромида алюминия или бромида железа (III) даст этилбензол:



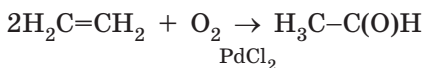
При окислении этилбензола перманганатом калия в нейтральной среде образуется бензоат калия:



**18.** Напишите уравнения реакций, с помощью которых можно осуществить превращения:



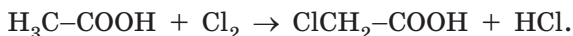
Окисление этилена в присутствии хлорида палладия дает ацетальдегид:



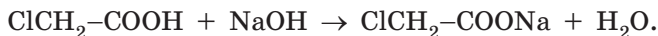
Взаимодействие ацетальдегида с свежесажженным раствором гидроксида меди (II) приведет к уксусной кислоте:



При хлорировании уксусной кислоты эквимольным количеством хлора образуется монохлоруксусная кислота:



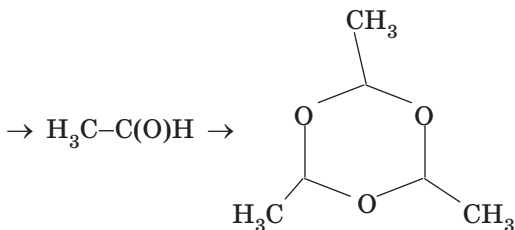
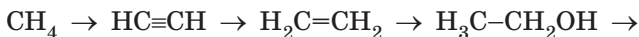
В результате нейтрализации монохлоруксусной кислоты гидроксидом натрия образуется натриевая соль монохлоруксусной кислоты:



При сплавлении этой соли с гидроксидом натрия образуется хлористый метил:



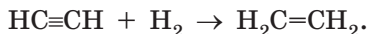
**19.** Напишите уравнения реакций, с помощью которых можно осуществить превращения:



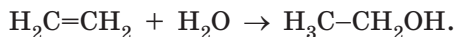
При температуре 1500 °С метан превращается в ацетилен:



Каталитическое гидрирование ацетилена дает этен:



Этиловый спирт образуется в результате каталитической гидратации этена:

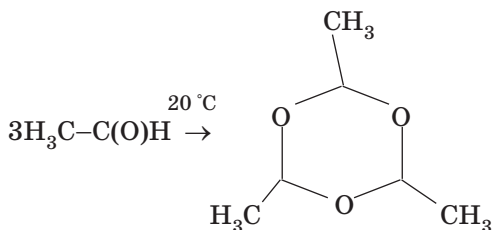


Каталитическое окисление этанола дает уксусный альдегид:

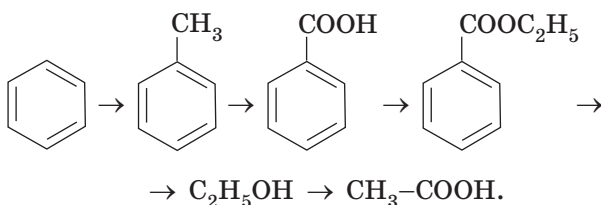
(300–400 °C)



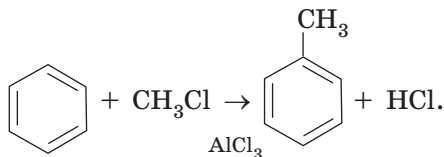
Тримеризация последнего приводит к паральдегиду:



20. Напишите уравнения реакций, с помощью которых можно осуществить превращения:

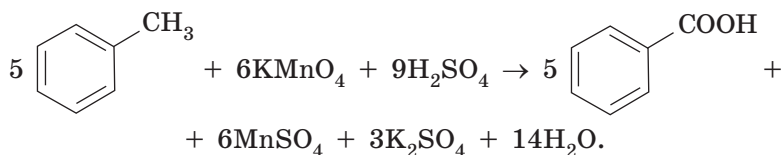


Алкилирование бензола хлористым метилом в присутствии хлорида алюминия даст толуол:

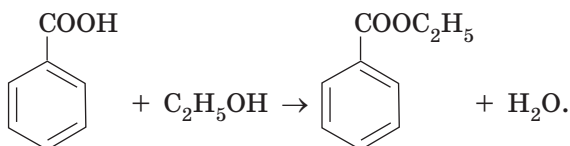


Окисление толуола перманганатом калия в кислой среде приведет к образованию бензойной кислоты:

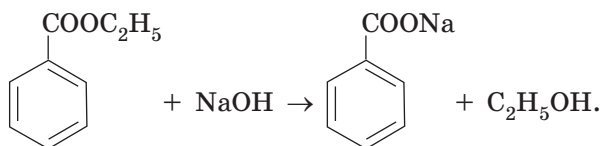




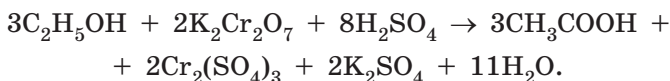
Этилбензоат может быть получен этерификацией бензойной кислоты:



Щелочной гидролиз этилбензоата даст этиловый спирт:



Окисление этанола бихроматом калия в кислой среде дает уксусную кислоту:



**РАСЧЕТЫ: МАССЫ (ОБЪЕМА, КОЛИЧЕСТВА ВЕЩЕСТВА) ПРОДУКТОВ РЕАКЦИИ, ЕСЛИ ОДНО ИЗ ВЕЩЕСТВ ДАНО В ИЗБЫТКЕ (ИМЕЕТ ПРИМЕСИ), ЕСЛИ ОДНО ИЗ ВЕЩЕСТВ ДАНО В ВИДЕ РАСТВОРА С ОПРЕДЕЛЕННОЙ МАССОВОЙ ДОЛЕЙ РАСТВОРЕННОГО ВЕЩЕСТВА. ЗАДАЧИ НА СМЕСИ**

Выполнение расчетных задач требует знания химических свойств веществ и предполагает осуществление некоторой совокупности действий, обеспечивающих получение правильного ответа. В число таких действий входят следующие:

— составление уравнений химических реакций (согласно данным условия задачи), необходимых для выполнения стехиометрических расчетов;

— выполнение расчетов, необходимых для нахождения ответов на поставленные в условии задачи вопросы;

— формулирование логически обоснованного ответа на все поставленные в задании вопросы.

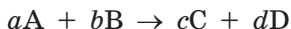
Однако следует иметь в виду, что не все названные действия обязательно должны присутствовать при решении любой расчетной задачи, а в отдельных случаях некоторые из них могут использоваться неоднократно.

Максимальная оценка за выполнение задания составляет 4 балла. При проверке следует в первую очередь обращать внимание на логическую обоснованность выполненных действий, поскольку некоторые задачи могут быть решены несколькими способами. Вместе с тем в целях объективной оценки предложенного способа решения задачи необходимо проверить правильность промежуточных результатов, которые использовались для получения ответа.

Подчеркнем также, что в большинстве расчетных задач нет необходимости в вычислении промежуточных результатов с использованием понятия «количество вещества». Иногда это усложняет решение.

При решении такого рода задач проверяются знания основ количественных расчетов в химии. Так, например, при решении задач на избыток-недостаток вначале определяют, какое именно из исходных веществ дано в избытке, а какое — в недостатке и, следовательно, прореагирует полностью. Расчет продукта реакции проводят по веществу, которое полностью вступило в реакцию, т. е. находящемуся в недостатке.

Для некой реакции:



определение реагента, взятого в избытке, проводят, сравнивая количества вещества реагентов, деленные на их стехиометрические коэффициенты:

$$n_A/a \text{ и } n_B/b,$$

где  $n_A$  — количество вещества реагента А;  $a$  — стехиометрический коэффициент;  $n_B$  — количество реагента В;  $b$  — стехиометрический коэффициент.

Если  $n_A/a < n_B/b$ , то в избытке вещество В, а если  $n_A/a > n_B/b$ , то, наоборот, в избытке вещество А, и оно реагирует полностью.

Рассмотрим несколько типовых задач.

1. К 80 мл 35%-ного раствора серной кислоты (плотность 1,26 г/мл) прибавили 53 г карбоната натрия. Сколько мл 20%-ной соляной кислоты (плотность 1,10 г/мл) нужно прибавить к полученной смеси для ее полной нейтрализации?

**Решение.** Составляем уравнение первой химической реакции и определяем количество вещества реагирующих веществ:



$$m(\text{H}_2\text{SO}_4) = \omega \cdot \rho \cdot V; \quad m(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,35 \cdot 1,26 \cdot 80 = 35,3 \text{ г};$$

$$n(\text{H}_2\text{SO}_4) = m(\text{H}_2\text{SO}_4)/M(\text{H}_2\text{SO}_4);$$

$$n(\text{H}_2\text{SO}_4) = 35,3/98 = 0,36 \text{ моль}.$$

$$n(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{m(\text{Na}_2\text{CO}_3)}{M(\text{Na}_2\text{CO}_3)}; \quad n(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{53}{106} = 0,5 \text{ моль}.$$

Следовательно, карбонат натрия находится в избытке. Определим количество вещества карбоната натрия, которое не вступит в реакцию:

$$n(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0,5 - 0,36 = 0,14 \text{ моль}.$$

Составим уравнение второй реакции:



В соответствии с этим уравнением на нейтрализацию избыточного карбоната натрия пойдет  $2 \cdot 0,14 = 0,28$  моль  $\text{HCl}$ .

Определим массу  $\text{HCl}$  и объем ее 20%-ного раствора:

$$m(\text{HCl}) = n(\text{HCl}) \cdot M(\text{HCl}); m(\text{HCl}) = 0,28 \cdot 36,5 = 10,2 \text{ г};$$

$$V(\text{HCl}) = \frac{m(\text{HCl})}{\rho \cdot \omega};$$

$$V(\text{HCl}) = \frac{10,2}{0,2 \cdot 1,10} = 46,4 \text{ мл.}$$

Ответ: 46,4 мл.

2. Газ, выделившийся при взаимодействии 12,7 г меди с 500 мл 67%-ной азотной кислоты (плотность 1,4 г/мл), растворили в 500 мл 30%-ного раствора едкого натра (плотность 1,33 г/мл). Определите массовую долю нитрата натрия в полученном растворе.

Решение. Составляем уравнение первой химической реакции, находим количества вещества реагентов, а также количества вещества реагентов с учетом стехиометрических коэффициентов:



$$n(\text{Cu}) = \frac{m(\text{Cu})}{A(\text{Cu})}; n(\text{Cu}) = \frac{12,7}{63,5} = 0,2 \text{ моль};$$

$$m(\text{HNO}_3) = \omega \cdot \rho \cdot V; m(\text{HNO}_3) = 0,67 \cdot 1,4 \cdot 500 = 469 \text{ г};$$

$$n(\text{HNO}_3) = \frac{m(\text{HNO}_3)}{M(\text{HNO}_3)};$$

$$n(\text{HNO}_3) = \frac{469}{63} = 7,44 \text{ моль},$$

с учетом стехиометрического коэффициента  $7,44/4 = 1,86$ . Следовательно, азотная кислота находится в избытке. По уравнению химической реакции  $n(\text{NO}_2) = 2n(\text{Cu})$ ;  $n(\text{NO}_2) = 2 \cdot 0,2 = 0,4$  моль.

Составляем уравнение второй химической реакции:



Определяем массу раствора гидроксида натрия, массу и количество вещества чистого NaOH:

$$M(p-pa) = \rho \cdot V; M(p-pa) = 1,33 \cdot 500 = 665 \text{ г};$$

$$m(\text{NaOH}) = \omega \cdot M(p-pa); m(\text{NaOH}) = 0,3 \cdot 665 = 199,5 \text{ г};$$

$$n(\text{NaOH}) = m(\text{NaOH})/M(\text{NaOH}); n(\text{NaOH}) = 199,5/40 = 4,99 \text{ моль. Гидроксид натрия находится в избытке.}$$

$$\text{По уравнению реакции } n(\text{NaNO}_3) = 0,5 n(\text{NO}_2); n(\text{NaNO}_3) = 0,5 \cdot 0,4 = 0,2 \text{ моль. Определим } m(\text{NaNO}_3):$$

$$m(\text{NaNO}_3) = 0,2 \cdot 85 = 17 \text{ г.}$$

Масса конечного раствора складывается из массы раствора NaOH (665 г) и массы поглощенного  $\text{NO}_2$ :

$$m(\text{NO}_2) = 0,4 \cdot 46 = 18,4 \text{ г.}$$

$$M(p-pa) = 665 + 18,4 = 683,4 \text{ г.}$$

Определим  $\omega(\text{NaNO}_3)$ :

$$\omega(\text{NaNO}_3) = m(\text{NaNO}_3)/M(p-pa);$$

$$\omega(\text{NaNO}_3) = 17 \cdot 100/683,4 = 2,5\%.$$

О т в е т: 2,5%.

3. Газ, образовавшийся при взаимодействии 250 мл 30%-ной соляной кислоты (плотность 1,15 г/мл) с 26,4 г оксида марганца (IV), пропустили при охлаждении через 300 г 20%-ного раствора гидроксида натрия. Определите процентную концентрацию гипохлорита натрия в конечном растворе.

Решение. Составляем уравнение первой химической реакции, определяем количество вещества  $\text{MnO}_2$ , массу и количество вещества HCl, а также какой из реагентов прореагирует полностью:



$$n(\text{MnO}_2) = m(\text{MnO}_2)/M(\text{MnO}_2);$$

$$n(\text{MnO}_2) = 26,4/87 = 0,3 \text{ моль.}$$

$$m(\text{HCl}) = \omega \cdot \rho \cdot V; m(\text{HCl}) = 0,3 \cdot 1,15 \cdot 250 = 86,25 \text{ г};$$

$$n(\text{HCl}) = 86,25/36,5 = 2,36 \text{ моль.}$$

$$\frac{n(\text{MnO}_2)}{1} < \frac{n(\text{HCl})}{4}, \text{ поэтому полностью прореагирует } \text{MnO}_2.$$

Из уравнения реакции следует, что  $n(\text{MnO}_2) = n(\text{Cl}_2) = 0,3$  моль.

Составляем уравнение второй химической реакции:



Вычисляем массу и количество вещества NaOH, определяем, какое вещество прореагирует полностью:

$$m(\text{NaOH}) = \omega \cdot M(\text{p-ра}); m(\text{NaOH}) = 0,2 \cdot 300 = 60 \text{ г};$$

$$n(\text{NaOH}) = 60/40 = 1,5 \text{ моль}.$$

$$\frac{n(\text{Cl}_2)}{1} < \frac{n(\text{NaOH})}{2}, \text{ следовательно, полностью прореагирует хлор}.$$

Из уравнения второй химической реакции следует, что  $n(\text{NaClO}) = n(\text{Cl}_2)$ .

Определим массу NaClO:

$$m(\text{NaClO}) = 0,3 \cdot 74,5 = 22,35 \text{ г}.$$

Масса конечного раствора складывается из массы раствора NaOH (800 г) и массы поглощенного хлора ( $0,3 \cdot 71 = 21,3$  г):

$$M(\text{p-ра}) = 300 + 21,3 = 321,3 \text{ г}.$$

Определим  $\omega(\text{NaClO})$ :

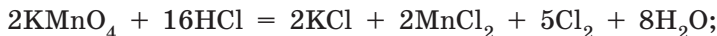
$$\omega(\text{NaClO}) = m(\text{NaClO})/M(\text{p-ра});$$

$$\omega(\text{NaClO}) = 22,35/321,3 \approx 7,0\%.$$

О т в е т: 7,0%.

4. Газ, образовавшийся при взаимодействии 500 мл 30%-ной соляной кислоты (плотность 1,15 г/мл) с 15,8 г перманганата калия, пропустили при нагревании до 70 °С через 400 г 20%-ного раствора NaOH. Определите процентную концентрацию хлорида натрия в конечном растворе.

Решение. Составляем уравнение первой химической реакции, вычисляем количество вещества перманганата калия, массу и количество вещества HCl:



$$n(\text{KMnO}_4) = 15,8/158 = 0,1 \text{ моль};$$

$$m(\text{HCl}) = \omega \cdot \rho \cdot V; m(\text{HCl}) = 0,3 \cdot 1,15 \cdot 500 = 172,5 \text{ г};$$

$$n(\text{HCl}) = 172,5/36,5 = 4,73 \text{ моль}.$$

Определяем, какое вещество прореагирует полностью:

$\frac{n(\text{MnO}_2)}{2} < \frac{n(\text{HCl})}{16}$ , следовательно, полностью прореагирует  $\text{KMnO}_4$ .

Из уравнения реакции видно, что из 2 моль  $\text{KMnO}_4$  образуется 5 моль  $\text{Cl}_2$ , тогда  $n(\text{Cl}_2) = 0,1 \cdot 5/2 = 0,25 \text{ моль}$ .

Составляем уравнение второй химической реакции:



Вычислим массу и количество вещества гидроксида натрия:

$$m(\text{NaOH}) = 0,2 \cdot 400 = 80 \text{ г};$$

$$n(\text{NaOH}) = 80/40 = 2 \text{ моль}.$$

Определим, какое вещество прореагирует полностью:

$\frac{n(\text{Cl}_2)}{3} < \frac{n(\text{NaOH})}{6}$ , следовательно, полностью прореагирует хлор.

По уравнению химической реакции из 3 моль  $\text{Cl}_2$  образуется 5 моль  $\text{NaCl}$ , тогда  $n(\text{NaCl}) = 0,25 \cdot 5/3 = 0,42 \text{ моль}$ .

Вычислим массу хлорида натрия:

$$m(\text{NaCl}) = 0,42 \cdot 58,5 = 24,6 \text{ г}.$$

Масса конечного раствора складывается из массы раствора  $\text{NaOH}$  (400 г) и массы поглощенного хлора ( $m(\text{Cl}_2) = 0,25 \cdot 71 = 17,8 \text{ г}$ ).

$$M(\text{р-ра}) = 400 + 17,8 = 417,8 \text{ г}.$$

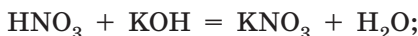
Вычислим  $\omega(\text{NaCl})$ :

$$\omega(\text{NaCl}) = 24,6 \cdot 100 / 417,8 = 5,9\%.$$

О т в е т: 5,9%.

5. Смешали 400 мл 50%-ной азотной кислоты с массовой долей 50% (плотность 1,31 г/мл) и 400 мл раствора гидроксида калия с массовой долей 30% (плотность 1,29 г/мл). Какой объем воды (мл) необходимо прибавить к полученной смеси, чтобы массовая доля нитрата калия составила в ней 20%?

Р е ш е н и е. Составляем уравнение химической реакции, вычисляем массы и количества вещества  $\text{HNO}_3$  и  $\text{KOH}$ :



$$m(\text{HNO}_3) = \omega \cdot \rho \cdot V; m(\text{HNO}_3) = 0,5 \cdot 1,31 \cdot 400 = 262 \text{ г};$$

$$n(\text{HNO}_3) = m(\text{HNO}_3) / M(\text{HNO}_3);$$

$$n(\text{HNO}_3) = 262 / 63 = 4,16 \text{ моль}.$$

Аналогично:

$$m(\text{KOH}) = \omega \cdot \rho \cdot V; m(\text{KOH}) = 0,3 \cdot 1,29 \cdot 400 = 154,8 \text{ г};$$

$$n(\text{KOH}) = m(\text{KOH}) / M(\text{KOH});$$

$$n(\text{KOH}) = 154,8 / 56 = 2,76 \text{ моль}.$$

$\frac{n(\text{HNO}_3)}{1} > \frac{n(\text{KOH})}{1}$ , следовательно, полностью прореагирует  $\text{KOH}$ .

По уравнению реакции  $n(\text{KNO}_3) = n(\text{KOH})$ , следовательно,  $n(\text{KNO}_3) = 2,76$  моль. Определим  $m(\text{KNO}_3)$ :  $m(\text{KNO}_3) = 2,76 \cdot 101 = 278,8 \text{ г}$ .

Массы растворов азотной кислоты и гидроксида калия соответственно равны  $M(\text{HNO}_3) = 1,31 \cdot 400 = 524 \text{ г}$ ;  $M(\text{KOH}) = 1,29 \cdot 400 = 516 \text{ г}$ .

Пусть к конечному раствору необходимо прибавить  $x \text{ г}$  воды, тогда по условию задачи  $\frac{278,8}{x + 516 + 524} = 0,2$ .



Решив это уравнение, получим  $x = 354$  г. Поскольку плотность воды 1 г/мл, то ее объем — 354 мл.

О т в е т: 354 мл.

6. Какую массу оксида серы (VI) необходимо добавить к 300 мл 40%-ного раствора серной кислоты (плотность 1,305 г/мл), чтобы увеличить массовую долю  $\text{H}_2\text{SO}_4$  на 10%?

Р е ш е н и е. Определим массу исходного раствора и массу серной кислоты в нем:

$$\begin{aligned} M(\text{р-ра}) &= \rho \cdot V; M(\text{р-ра}) = 1,305 \cdot 300 = 391,5 \text{ г}; \\ m(\text{H}_2\text{SO}_4) &= \omega \cdot M(\text{р-ра}); m(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,4 \cdot 391,5 \cdot 100 = 156,6 \text{ г}. \end{aligned}$$

Составляем уравнение химической реакции:



Пусть в реакцию вступит  $x$  г  $\text{SO}_3$ , тогда масса образующейся серной кислоты равна  $m(\text{H}_2\text{SO}_4) = 98 \cdot x / 80$ , где 98 и 80 — молярные массы  $\text{H}_2\text{SO}_4$  и  $\text{SO}_3$  соответственно.

Концентрация серной кислоты в конечном растворе равна  $40 + 10 = 50\%$ .

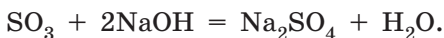
$$\text{Следовательно, } \frac{156,6 + x}{391,5 + x} = 0,5.$$

Решив это уравнение, получим  $x = 78,3$ .

О т в е т: 78,3 г  $\text{SO}_3$ .

7. Какую минимальную массу оксида серы (VI) необходимо добавить к 200 г 30%-ного раствора гидроксида натрия, чтобы процентная концентрация сульфата натрия в конечном растворе стала равна 5%?

Р е ш е н и е. Составляем уравнение химической реакции:



Пусть в реакцию вступит  $x$  г  $\text{SO}_3$ , тогда масса образовавшегося  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  составит  $m(\text{Na}_2\text{SO}_4) = \frac{142 \cdot x}{80} = 1,775x$  г. В этом уравнении 142 и 80 — молярные массы  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  и  $\text{SO}_3$  соответ-

ственно. Масса конечного раствора составит  $(200 + x)$  г, тогда по уравнению задачи:  $\frac{1,775 \cdot x}{200 + x} = 0,05$ .

Решив это уравнение, получим:  $x = 5,8$  г.

Ответ: 5,8 г  $\text{SO}_3$ .

8. Смешали 100 г 20%-ного раствора сульфата натрия и 50 г 10%-ного раствора хлорида бария. Определите массовую долю хлорида натрия в конечном растворе.

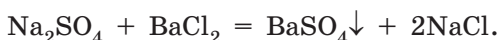
Решение. Вычислим массы и количества вещества реагентов:

$$m(\text{Na}_2\text{SO}_4) = \omega \cdot M(\text{p-ра}); m(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 0,2 \cdot 100 = 20 \text{ г};$$

$$n(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 20/142 = 0,14 \text{ моль};$$

$$m(\text{BaCl}_2) = 0,1 \cdot 50 = 5 \text{ г } n(\text{BaCl}_2) = 5/208 = 0,024 \text{ моль}.$$

Составляем уравнение химической реакции:



Из него следует, что исходные вещества реагируют в соотношении 1 : 1, поэтому полностью прореагирует хлорид бария.

Определим количество вещества и массу хлорида натрия в конечном растворе:

$$n(\text{NaCl}) = 2n(\text{BaCl}_2);$$

$$n(\text{NaCl}) = 2 \cdot 0,024 = 0,048 \text{ моль};$$

$$m(\text{NaCl}) = 0,048 \cdot 58,5 = 2,8 \text{ г}.$$

Определим массу сульфата бария, образовавшегося в результате реакции:

$$n(\text{BaSO}_4) = n(\text{BaCl}_2) = 0,024 \text{ моль};$$

$$m(\text{BaSO}_4) = 0,024 \cdot 233 = 5,6 \text{ г}.$$

Масса конечного раствора будет складываться из масс двух исходных растворов за вычетом массы сульфата бария, выпавшего в осадок:

$$M(\text{p-ра}) = 100 + 50 - 5,6 = 144,4 \text{ г}.$$

Вычислим  $\omega(\text{NaCl})$ :

$$\omega(\text{NaCl}) = \frac{2,8}{144,4} \cdot 100 = 1,9\%.$$

О т в е т: 1,9% NaCl.

9. Смешали 150 мл 30%-ной серной кислоты (плотность 1,22 г/мл) и 400 мл 30%-ного раствора едкого натра (плотность 1,33 г/мл). Какое количество вещества соляной кислоты необходимо добавить в реакционную массу до ее полной нейтрализации?

Р е ш е н и е. Вычисляем массу и количество вещества серной кислоты и гидроксида натрия:

$$m(\text{H}_2\text{SO}_4) = \omega \cdot \rho \cdot V; m(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,3 \cdot 1,22 \cdot 150 = 54,9 \text{ г};$$

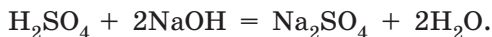
$$n(\text{H}_2\text{SO}_4) = m(\text{H}_2\text{SO}_4)/M(\text{H}_2\text{SO}_4);$$

$$n(\text{H}_2\text{SO}_4) = 54,9/98 = 0,56 \text{ моль};$$

$$m(\text{NaOH}) = 0,3 \cdot 1,33 \cdot 400 = 159,6 \text{ г};$$

$$n(\text{NaOH}) = 159,6/40 = 4,0 \text{ моль}.$$

Составляем уравнение химической реакции:



Установим, какое вещество прореагирует полностью:

$$\frac{n(\text{H}_2\text{SO}_4)}{1} < \frac{n(\text{NaOH})}{2}, \text{ следовательно, полностью прореа-}$$

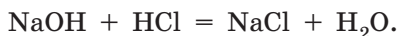
гирует серная кислота.

Определим количество вещества NaOH, вступившего в реакцию с серной кислотой  $n(\text{NaOH}) = 2n(\text{H}_2\text{SO}_4)$ ,  $n(\text{NaOH}) = 2 \cdot 0,56 = 1,12$  моль.

Определим оставшееся количество вещества NaOH:

$$n(\text{NaOH}) = 4 - 1,12 = 2,88 \text{ моль}.$$

Составим уравнение нейтрализации гидроксида натрия соляной кислотой:



Из этого уравнения следует, что  $n(\text{HCl}) = n(\text{NaOH}) = 2,88$  моль.

Ответ: 2,88 моль HCl.

10. Образец карбоната кальция массой 150 г, содержащий 8% некарбонатных примесей, обработали избытком соляной кислоты. Какой объем 35%-ного раствора гидроксида натрия (плотность 1,38 г/мл) потребуется на связывание выделившегося газа в виде кислой соли?

Решение. Определим массу и количество вещества чистого карбоната кальция:

$$m(\text{CaCO}_3) = (1 - 0,08) \cdot 150 = 138 \text{ г};$$

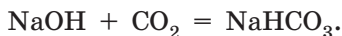
$$n(\text{CaCO}_3) = 138/100 = 1,38 \text{ моль}.$$

Составляем уравнение химической реакции:



Из него следует, что  $n(\text{CO}_2) = n(\text{CaCO}_3) = 1,38$  моль.

Составляем уравнение реакции образования кислой соли:



Из этого уравнения следует, что  $n(\text{NaOH}) = n(\text{CO}_2) = 1,38$  моль.

Определим массу NaOH и объем его 35%-ного раствора:

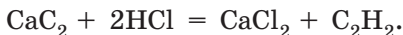
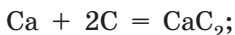
$$m(\text{NaOH}) = 1,38 \cdot 40 = 55,2 \text{ г}.$$

$$V(\text{р-ра}) = \frac{m(\text{NaOH})}{\omega \cdot \rho}; \quad V(\text{р-ра}) = \frac{55,2}{0,35 \cdot 1,38} = 114,3 \text{ мл}.$$

Ответ: 114,3 мл.

11. Смесь кальция и углерода массой 26 г выдержали при высокой температуре в течение длительного времени, охладили до комнатной температуры и обработали разбавленной соляной кислотой. Определите объем выделившегося при этом газа, если масса нерастворившегося остатка составила 10 г. Выходы по всем реакциям считать количественными.

**Решение.** Составляем уравнения химических реакций:



Очевидно, что нерастворимым в разбавленной соляной кислоте остатком может быть только углерод. Следовательно, масса кальция и углерода, вступивших в реакцию, составляет  $26 - 10 = 16$  г.

Из уравнения первой химической реакции видно, что это масса карбида кальция.

Определяем количество вещества  $\text{CaC}_2$ ;

$$n(\text{CaC}_2) = m(\text{CaC}_2)/M(\text{CaC}_2);$$

$$n(\text{CaC}_2) = 16/64 = 0,25 \text{ моль}.$$

Как следует из уравнения второй химической реакции, количество вещества ацетилена равно количеству вещества карбида кальция. Определим  $V(\text{C}_2\text{H}_2)$ :

$$V(\text{C}_2\text{H}_2) = n(\text{C}_2\text{H}_2) \cdot V_A;$$

$$V(\text{C}_2\text{H}_2) = 0,25 \cdot 22,4 = 5,6 \text{ л}.$$

**Ответ:** 5,6 л.

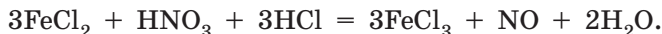
**12.** Хлорид железа (II) обработали смесью азотной и соляной кислот. При этом выделилось 8,96 л газа, плотность которого по гелию равна 7,5. Вычислите массу соли железа, если предположить, что анионом в этой соли является хлорид-ион.

**Решение.** Определяем молярную массу газообразного продукта реакции:

$$M = 7,5 \cdot M(\text{He}); M = 7,5 \cdot 4 = 30 \text{ г/моль}.$$

Эта молярная масса соответствует оксиду азота (II), NO.

Составляем уравнение химической реакции:



Из этого уравнения следует, что на 1 моль NO образуется 3 моль  $\text{FeCl}_3$ . Определяем количество вещества NO:

$$n(\text{NO}) = 8,96/22,4 = 0,4 \text{ моль, следовательно,}$$

$$n(\text{FeCl}_3) = 3 \cdot 0,4 = 1,2 \text{ моль.}$$

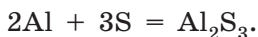
Определим массу  $\text{FeCl}_3$ :

$$m(\text{FeCl}_3) = 1,2 \cdot 162,5 = 195 \text{ г.}$$

О т в е т: 195 г  $\text{FeCl}_3$ .

13. Сплавляли 87 г алюминия и 122 г серы, полученный сплав обработали избытком воды. Определите объем выделившегося при этом газа, считая выходы по всем реакциям равными 100%.

Р е ш е н и е. Составляем уравнение первой химической реакции:



Вычисляем количества вещества алюминия и серы:

$$n(\text{Al}) = 87/27 = 3,22 \text{ моль;}$$

$$n(\text{S}) = 122/32 = 3,81 \text{ моль.}$$

Определим, какое вещество прореагирует полностью:

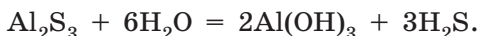
$$\frac{n(\text{Al})}{2} = \frac{3,22}{2} = 1,61 \text{ моль;}$$

$\frac{n(\text{S})}{3} = \frac{3,81}{3} = 1,27$ . Поскольку  $\frac{n(\text{S})}{3} < \frac{n(\text{Al})}{2}$ , полностью прореагирует сера.

Определим количество вещества образовавшегося сульфида алюминия:

$$n(\text{Al}_2\text{S}_3) = n(\text{S})/3 = 1,27 \text{ моль.}$$

Составляем уравнение второй химической реакции:



Из этого уравнения следует, что  $n(\text{H}_2\text{S}) = 3n(\text{Al}_2\text{S}_3)$ ;  
 $n(\text{H}_2\text{S}) = 3 \cdot 1,27 = 3,81$  моль.

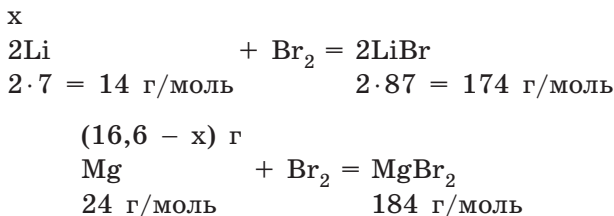
Определим объем сероводорода:

$$V(\text{H}_2\text{S}) = 3,81 \cdot V_A; V(\text{H}_2\text{S}) = 3,81 \cdot 22,4 = 85,3 \text{ л.}$$

Ответ: 85,3 л.

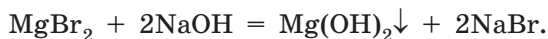
**14.** Смесь лития и магния массой 16,6 г обработали избытком брома. По окончании реакции масса твердых продуктов составила 160,6 г. Эту смесь растворили в воде и добавили к ней избыток гидроксида натрия. Выпавший осадок отделили и прокалили до постоянной массы. Установите, какое вещество и какой массы было получено.

Решение. Пусть в исходной смеси было  $x$  г лития, тогда масса магния равна  $(16,6 - x)$  г. Составляем уравнения химических реакций:



Из этих уравнений следует, что масса образовавшегося бромида лития равна  $174/14 = 12,43x$  г, а масса бромида магния  $184(16,6 - x)/24 = 7,67(16,6 - x)$  г. По условию задачи  $12,43x + 7,67(16,6 - x) = 160,6$ . Решив это уравнение, получим  $x = 7$  г. Тогда масса магния составит  $16,6 - 7 = 9,6$  г.

При обработке бромидов лития и магния гидроксидом натрия с образованием осадка пойдет следующая реакция:



При прокаливании гидроксид магния теряет воду:



Из приведенных выше уравнений следует, что  $n(\text{MgO}) = n(\text{Mg})$ . Определим количество вещества магния:  $n(\text{Mg}) = 9,6/24 = 0,4$  моль.

Определим массу  $\text{MgO}$ :

$$m(\text{MgO}) = 0,4 \cdot 40 = 16 \text{ г.}$$

Ответ: 16 г  $\text{MgO}$ .

15. 8,96 л оксида серы (IV) пропустили через водный раствор, содержащий эквивалентное количество йода. Вычислите количество вещества гидроксида калия, необходимого для полной нейтрализации полученной реакционной массы.

Решение. Составляем уравнение химической реакции:

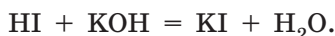
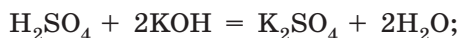


Определяем количество вещества  $\text{SO}_2$ :

$$n(\text{SO}_2) = 8,96/22,4 = 0,4 \text{ моль.}$$

Из уравнения реакции следует, что  $n(\text{H}_2\text{SO}_4) = n(\text{SO}_2) = 0,4$  моль, а  $n(\text{HI}) = 2n(\text{SO}_2) = 0,8$  моль.

Составляем уравнения реакций нейтрализации:



Из этих уравнений следует, что  $n(\text{KOH}) = 2n(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,8$  моль.

$$n(\text{KOH}) = n(\text{HI}) = 0,8 \text{ моль.}$$

Определяем общее количество вещества  $\text{KOH}$ :

$$n(\text{KOH}) = 0,8 + 0,8 = 1,6 \text{ моль.}$$

Ответ: 1,6 моль  $\text{KOH}$ .

16. Количество вещества сульфата бария, которое образуется в результате взаимодействия в водном растворе 136,8 г сульфата алюминия и 148,5 г бромиды бария,



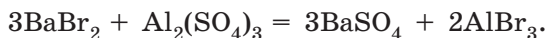
равно \_\_\_\_\_ моль. (Ответ запишите с точностью до десятых.)

Решение. Вычислим количество вещества сульфата алюминия и бромида бария:

$$n(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3) = 136,8/342 = 0,4 \text{ моль};$$

$$n(\text{BaBr}_2) = 148,5/297 = 0,5 \text{ моль}.$$

Составим уравнение химической реакции:



Определим, какое вещество прореагирует полностью:

$$n(\text{BaBr}_2)/3 = 0,17 \text{ моль}.$$

$n(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3)/1 = 0,4$  моль. Следовательно, полностью прореагирует бромид бария.

Из уравнения реакции следует, что количества вещества бромида бария и сульфата бария равны между собой. Следовательно, количество вещества сульфата бария равно 0,5 моль.

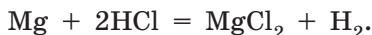
Ответ: 0,5 моль.

17. Объем газа, который выделится при обработке избытком соляной кислоты 200 г технического магния, содержащего 5% примесей, равен \_\_\_\_\_ л. (Ответ округлите до целого числа.)

Решение. Определим массу примесей:  $m = 0,05 \cdot 200 = 10$  г. Определим массу чистого магния:  $m(\text{Mg}) = 200 - 10 = 190$  г.

Вычисляем количество вещества магния:  $n(\text{Mg}) = 190/24 = 7,9$  моль.

Составляем уравнение химической реакции:



Из этого уравнения следует, что  $n(\text{Mg}) = n(\text{H}_2)$ .

Вычислим объем водорода:

$V(\text{H}_2) = n(\text{H}_2) \cdot V_A$ ;  $V(\text{H}_2) = 7,9 \cdot 22,4 = 176,96$  л. Округлив до целого числа, получим 177 л.

Ответ: 177 л.

18. Образец карбоната магния массой 400 г, содержащий в своем составе 8% сульфатных примесей, обработали избытком азотной кислоты. Какой объем газа при этом выделился? (Ответ округлите до целого числа.)

Решение. Рассчитаем массу примесей и массу карбоната магния.

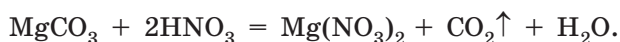
$$m(\text{прим.}) = 0,08 \cdot 400 = 32 \text{ г};$$

$$m(\text{MgCO}_3) = 400 - 32 = 368 \text{ г}.$$

Вычислим количество вещества  $\text{MgCO}_3$ :

$$n(\text{MgCO}_3) = 368/84 = 4,38 \text{ моль}.$$

Составляем уравнение химической реакции:



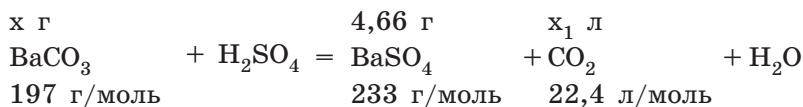
Из уравнения реакции следует, что  $n(\text{CO}_2) = n(\text{MgCO}_3)$ .  
Определим  $V(\text{CO}_2)$ :

$$V(\text{CO}_2) = 4,38 \cdot 22,4 = 98,1 \text{ л. После округления — 98 л.}$$

Ответ: 98 л  $\text{CO}_2$ .

19. Смесь карбоната натрия и карбоната бария обработали избытком раствора серной кислоты. При этом образовалось 4,66 г осадка и 2,688 л газа. Определите массовую долю карбоната бария в исходной смеси.

Решение. Составляем уравнение взаимодействия карбоната бария с серной кислотой и по массе выпавшего осадка определим массу карбоната бария в исходной смеси и объем  $\text{CO}_2$  в продуктах реакции:

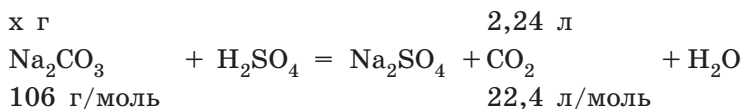


$$m(\text{BaCO}_3) = \frac{197 \cdot 4,66}{233} = 3,94 \text{ г.}$$

$$V(\text{CO}_2) = \frac{4,66 \cdot 22,4}{233} = 0,448 \text{ л.}$$

Тогда объем углекислого газа, образовавшегося в результате взаимодействия карбоната натрия с серной кислотой, составит  $2,688 - 0,448 = 2,24$  л.

Составляем уравнение реакции взаимодействия карбоната натрия с серной кислотой и по объему углекислого газа определим массу исходного  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ :



$$m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{106 \cdot 2,24}{22,4} = 10,6 \text{ г.}$$

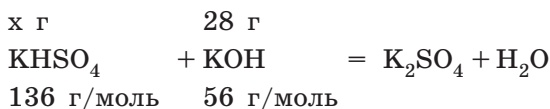
Общая масса исходной смеси составит  $3,94 + 10,6 = 14,54$  г, а  $\omega(\text{BaCO}_3) = (3,94/14,54) \cdot 100 = 27,1\%$ .

Ответ: 27,1%  $\text{BaCO}_3$ .

**20.** Смесь гидросульфата и сульфата калия с массовой долей сульфата в ней 75% вступает в реакцию со 100 г 28%-ного раствора гидроксида калия. Определите массу осадка, который образуется при взаимодействии этой смеси с избытком раствора гидроксида бария.

**Решение.** Определим массу гидроксида калия в исходном растворе:  $m(\text{KOH}) = 0,28 \cdot 100 = 28$  г.

Составляем уравнение взаимодействия гидроксида калия с гидросульфатом калия и определим его массу в исходной смеси:



$$m(\text{KHSO}_4) = \frac{136 \cdot 28}{56} = 68 \text{ г.}$$

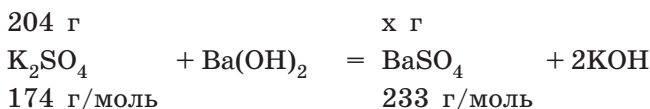
По условию задачи содержание сульфата калия составляет 75%, тогда  $\omega(\text{KHSO}_4) = 100 - 75 = 25\%$ , или 0,25 в долях от единицы. Определим  $M_{\text{смеси}}$  и  $m(\text{K}_2\text{SO}_4)$  в ней:

$$M_{\text{смеси}} = m(\text{KHSO}_4)/0,25;$$

$$M_{\text{смеси}} = 68/0,25 = 272 \text{ г.}$$

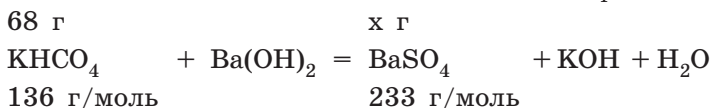
$$m(\text{K}_2\text{SO}_4) = 272 - 68 = 204 \text{ г.}$$

Составляем уравнение взаимодействия сульфата калия с гидроксидом бария и определим  $m(\text{BaSO}_4)$ :



$$m(\text{BaSO}_4) = \frac{233 \cdot 204}{174} = 273,2 \text{ г.}$$

Составляем уравнение взаимодействия гидросульфата калия с гидроксидом бария и определим  $m(\text{BaSO}_4)$ :



$$m(\text{BaSO}_4) = \frac{233 \cdot 68}{136} = 116,5 \text{ г.}$$

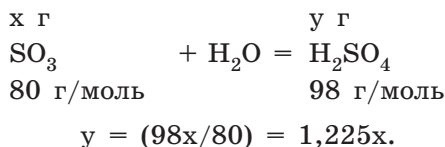
Тогда общая масса осадка составит  $116,5 + 273,2 = 389,7 \text{ г.}$

Ответ: 389,7 г.

**21.** Определите массу оксида серы (VI), которую нужно добавить к 100 г 25%-ного раствора серной кислоты, чтобы повысить ее концентрацию в два раза.

Решение. Определим  $m(\text{H}_2\text{SO}_4)$ :  $m(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,25 \cdot 100 = 25 \text{ г.}$  Очевидно, что оксид серы (VI) будет реагировать с водой с образованием серной кислоты. Пусть в реакцию нуж-

но взять  $x$  г  $\text{SO}_3$ . Составляем уравнение реакции и в общем виде определим массу образующейся серной кислоты:



По условию задачи концентрация кислоты увеличится в два раза, т. е.  $25 \cdot 2 = 50\%$ , тогда:

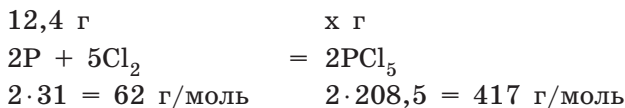
$$\frac{1,225x + 25}{100 + x} = 0,5.$$

Решив это уравнение относительно  $x$ , получим 34,5 г.

Ответ: 34,5 г.

**22.** Навеску фосфора массой 12,4 г сожгли в избытке хлора. Полученное твердое вещество внесли в 800 г 40%-ного раствора гидроксида калия. Определите массовые доли веществ в полученном растворе.

Решение. Составляем уравнение реакции и по массе фосфора определяем массу образовавшегося  $\text{PCl}_5$ :



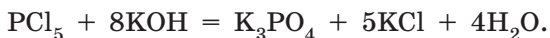
$$m(\text{PCl}_5) = \frac{12,4 \cdot 417}{62} = 83,4 \text{ г.}$$

$$\text{Определим } n(\text{PCl}_5): n(\text{PCl}_5) = \frac{83,4}{208,5} = 0,4 \text{ моль.}$$

Определим количество вещества и массу хлорида калия:  
 $n(\text{KCl}) = 5n(\text{PCl}_5)$ ;  $n(\text{KCl}) = 5 \cdot 0,4 = 1 \text{ моль}$ ;  $m(\text{KCl}) = 1 \cdot 74,5 = 74,5 \text{ г.}$

Определим массу и количество вещества гидроксида калия в исходном растворе:  $m(\text{KOH}) = 0,4 \cdot 800 = 320 \text{ г}$ ;  
 $n(\text{KOH}) = 320/56 = 5,71 \text{ моль.}$

Составляем уравнение реакции и определяем, какое вещество прореагирует полностью:



$n(\text{PCl}_5)/1 = 0,4$  моль;  $n(\text{KOH})/8 = 5,71/8 = 0,71$  моль. Следовательно, полностью прореагирует  $\text{PCl}_5$  и все расчеты будем вести по нему.

Определим  $n(\text{KOH})$ , вступившего в реакцию:  $n(\text{KOH}) = 8n(\text{PCl}_5)$ ;  $n(\text{KOH}) = 8 \cdot 0,4 = 3,2$  моль. Определим  $n(\text{KOH})$  и  $m(\text{KOH})$ :  $n(\text{KOH}) = 5,71 - 3,2 = 2,51$  моль.  $m(\text{KOH}) = 2,51 \times 56 = 140,56$  г.

Определим  $m(\text{K}_3\text{PO}_4)$  в конечном растворе:  $m(\text{K}_3\text{PO}_4) = 0,4 \cdot 212 = 84,8$  г. Определим массу конечного раствора:  $M(\text{р-ра}) = 800 + 83,4 = 883,4$  г.

$$\omega(\text{KOH}) = 140,56/883,4 = 15,9\%.$$

$$\omega(\text{K}_3\text{PO}_4) = 84,8/883,4 = 9,6\%.$$

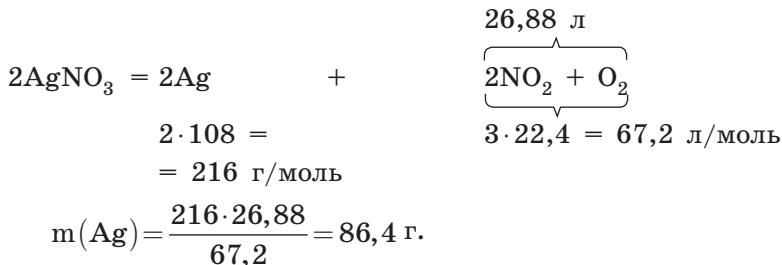
$$\omega(\text{KCl}) = (74,5/883,4) \times 100 = 8,4\%.$$

$$\omega(\text{H}_2\text{O}) = 100 - 15,9 - 9,6 - 8,4 = 66,1\%.$$

Ответ:  $\omega(\text{KOH}) = 15,9\%$ ,  $\omega(\text{K}_3\text{PO}_4) = 9,6\%$ .  $\omega(\text{KCl}) = 8,4\%$ ,  $\omega(\text{H}_2\text{O}) = 66,1\%$ .

**23.** При нагревании навески нитрата серебра часть вещества разложилась. При этом выделилось 26,88 л смеси газов (н.у.). Масса твердого остатка составила 111,9 г. К остатку добавили 100 мл воды и 206 г 20%-ного бромида натрия. Определите его массовую долю в конечном растворе.

Решение. Составляем уравнение реакции и по объему выделившихся газов определяем массу серебра в образовавшейся смеси твердых веществ:



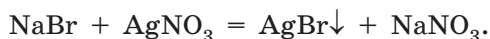
Определим массу неразложившегося  $\text{AgNO}_3$ :

$$m(\text{AgNO}_3) = 111,9 - 86,4 = 25,5 \text{ г.}$$

Определим  $n(\text{AgNO}_3)$ :  $n(\text{AgNO}_3) = 25,5/170 = 0,15$  моль.

Определим  $m(\text{NaBr})$  и  $n(\text{NaBr})$ :  $m(\text{NaBr}) = 0,2 \cdot 206 = 41,2$  г;  $n(\text{NaBr}) = 41,2/103 = 0,4$  моль.

Составляем уравнение реакции:



Из этого уравнения следует, что нитрат серебра находится в недостатке и прореагирует полностью. Тогда  $n(\text{AgBr}) = 0,15$  моль, а  $n(\text{NaBr})$  в конечном растворе составит  $0,4 - 0,15 = 0,25$  моль.

Определим их массы:

$$m(\text{NaBr}) = 0,25 \cdot 103 = 25,75 \text{ г;}$$

$$m(\text{AgBr}) = 0,15 \cdot 188 = 28,2 \text{ г.}$$

Определим массу конечного раствора:

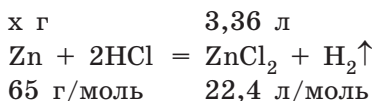
$$M(\text{р-ра}) = 25,5 + 100 + 206 - 28,2 = 303,3 \text{ г.}$$

$$\omega(\text{NaBr}) = (25,75/303,3) \cdot 100 = 8,5\%.$$

О т в е т: 8,5%.

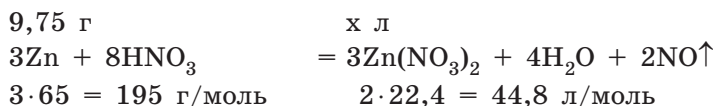
**24.** Смесь порошков меди и цинка обработали избытком раствора разбавленной соляной кислоты, при этом выделилось 3,36 л водорода (н.у.). При обработке такой же навески смеси разбавленной азотной кислотой выделилось 11,2 л NO (н.у.). Рассчитайте массовую долю цинка в исходной смеси.

**Решение.** Медь находится в ряду напряжений металлов и, следовательно, с разбавленной соляной кислотой не взаимодействует. Составляем уравнение реакции соляной кислоты с цинком и по объему выделившегося водорода находим массу цинка в исходной смеси:



$$m(\text{Zn}) = \frac{65 \cdot 3,3}{22,4} = 9,75 \text{ г.}$$

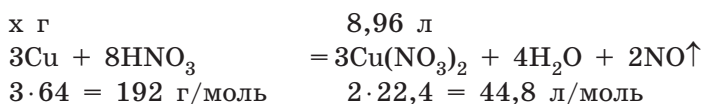
Составляем уравнение взаимодействия цинка с разбавленной азотной кислотой и по массе вошедшего в реакцию цинка определяем объем образовавшегося NO:



$$V(\text{NO}) = \frac{9,75 \cdot 44,8}{195} = 2,24 \text{ л.}$$

Определим объем NO, который образовался в результате реакции меди с разбавленной азотной кислотой:  $V(\text{NO}) = 11,2 - 2,24 = 8,96 \text{ л.}$

Составляем уравнение взаимодействия меди с разбавленной азотной кислотой и по объему образовавшегося NO определяем массу меди в исходной смеси:



$$m(\text{Cu}) = \frac{192 \cdot 8,96}{44,8} = 38,4 \text{ г.}$$

Вычислим  $M_{\text{смеси}}$  и  $\omega(\text{Zn})$ :  $M_{\text{смеси}} = 38,4 + 9,75 = 48,15 \text{ г;}$   
 $\omega(\text{Zn}) = (9,75 \cdot 100)/48,15 = 20,2\%.$

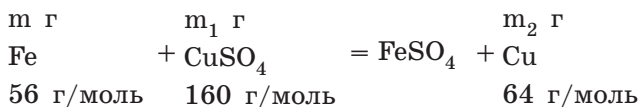
О т в е т: 20,2%.

**25.** Железную пластину массой 40 г опустили в 500 г раствора сульфата меди, содержащего 20%  $\text{CuSO}_4$ . Через некоторое время пластину вынули, промыли и высушили. Масса пластины оказалась равной 44,4 г. Определите массу меди, выделившейся на пластине, и концентрацию



сульфата меди (II) в образовавшемся после реакции растворе.

**Решение.** Изменение массы пластинки происходит за счет перехода в раствор атомов железа и осаждения на ней меди. Атомная масса меди 64 г/моль, а атомная масса железа — 56 г/моль. Составляем уравнение химической реакции:



Если в реакцию вступает 1 моль железа, то изменение массы  $\Delta m = 64 - 56 = 8$  г. Фактическое изменение массы составило  $44,4 - 40 = 4,4$  г. Тогда масса железа, перешедшего в раствор, составит:

$$m(\text{Fe}) = \frac{4,4 \times 56}{8} = 30,8 \text{ г.}$$

Исходная масса сульфата меди (II) равна  $m(\text{CuSO}_4) = 0,2 \cdot 500 = 100$  г, а масса сульфата меди, вступившего в реакцию, составит:

$$m(\text{CuSO}_4) = \frac{4,4 \times 160}{8} = 88 \text{ г.}$$

Таким образом, в конечном растворе останется  $100 - 88 = 12$  г сульфата меди (II).

Масса меди, осажденной на пластине, составит:

$$m(\text{Cu}) = \frac{4,4 \times 64}{8} = 35,2 \text{ г.}$$

Масса конечного раствора будет складываться из массы исходного раствора и массы железа, перешедшего в раствор, за вычетом массы меди, осевшей на пластине, и будет равна  $500 + 30,8 - 35,2 = 495,6$  г.

Массовая доля сульфата меди (II) в конечном растворе  $\omega(\text{CuSO}_4) = (12 \times 100)/495,6 = 2,42\%$ .

Ответ: 35,2 г меди;  $\omega(\text{CuSO}_4)$  2,42%.

## НАХОЖДЕНИЕ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ФОРМУЛЫ ВЕЩЕСТВА

Есть несколько вариантов такого рода задач.

В первых приведены данные по процентному содержанию элементов в соединении. Такие задачи решают по следующей схеме: выбирают для расчетов образец вещества массой 100 г. Очевидно, массы элементов в этом соединении численно равны их процентному содержанию. Затем определяют количества вещества элементов, находят отношение количеств веществ элементов и выводят простейшую формулу соединения.

Для определения истинной формулы соединения используют дополнительные сведения, позволяющие установить молекулярную массу вещества.

В задачах второго типа используют данные элементного анализа. При этом обязательно учитывают, что содержание кислорода в молекуле органического вещества элементным анализом не определяется, поэтому необходимо проверять суммарное содержание элементов в веществе. Если оно меньше 100%, то подразумевается, что недостающая часть приходится на кислород.

В задачах третьего типа приводят количественные данные по соотношениям реагентов в каких-либо реакциях. В этом случае необходимо правильно написать уравнение реакции в общем виде, а затем произвести количественные расчеты.

В четвертом типе задач формулу вещества необходимо установить по составу продуктов его сгорания. В этом случае вычисляют количества вещества продуктов сгорания, затем — массы соответствующих химических элементов, дополнительно проверяют, входил ли в состав исходного вещества кислород. После этого выводят простейшую, а затем (при необходимости) — истинную формулу вещества.

Начиная с 2015 года изменена шкала оценивания этого типа заданий. Максимальный балл за его выполнение — 4 (вместо 3 баллов до 2014 года). При этом кроме молекулярной формулы вещества необходимо установить его структурную формулу, которая однозначно отражает порядок связи атомов в его молекуле.

Для решения всех вышеперечисленных задач необходимо знать в том числе и общие формулы гомологических рядов основных классов органических соединений.

Эти формулы, а также молярные массы представителей различных классов органических веществ приведены в таблице 2.

Таблица 2

**Общие формулы и молярная масса в общем виде  
представителей различных гомологических рядов  
органических веществ**

| Гомологический ряд | Общая формула         | Молярная масса<br>в общем виде, г/моль |
|--------------------|-----------------------|--|
| Алканы             | $C_n H_{2n+2}$        | $14n + 2$                              |
| Алкены             | $C_n H_{2n}$          | $14n$                                  |
| Алкины             | $C_n H_{2n-2}$        | $14n - 2$                              |
| Диены              | $C_n H_{2n-2}$        | $14n - 2$                              |
| Циклоалканы        | $C_n H_{2n}$          | $14n$                                  |
| Арены              | $C_n H_{2n-6}$        | $14n - 6$                              |
| Циклоалкены        | $C_n H_{2n-2}$        | $14n - 2$                              |
| Моногалогеналканы  | $C_n H_{2n+1} X$      | $14n + 1 + A(X)$                       |
| Дигалогеналканы    | $C_n H_{2n} X_2$      | $14n + 2A(X)$                          |
| Одноатомные спирты | $C_n H_{2n+1} OH$     | $14n + 18$                             |
| Двухатомные спирты | $C_n H_{2n} (OH)_2$   | $14n + 34$                             |
| Трехатомные спирты | $C_n H_{2n-1} (OH)_3$ | $14n + 50$                             |
| Альдегиды          | $C_n H_{2n+1} C(O)H$  | $14n + 30$                             |

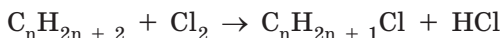
*Окончание таблицы*

| Гомологический ряд                         | Общая формула         | Молярная масса<br>в общем виде |
|--|-----------------------|--------------------------------|
| Кетоны                                     | $C_{n+1}H_{2n+2}O$    | $14n + 30$                     |
| Предельные карбоновые одноосновные кислоты | $C_nH_{2n+1}COOH$     | $14n + 46$                     |
| Простые эфиры                              | $C_nH_{2n+2}O$        | $14n + 18$                     |
| Первичные амины                            | $C_nH_{2n+1}NH_2$     | $14n + 17$                     |
| Аминокислоты                               | $(NH_2)C_nH_{2n}COOH$ | $14n + 61$                     |

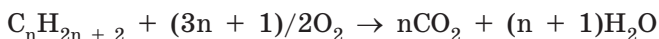
Ниже приведены уравнения некоторых реакций органических веществ, которые чаще всего встречаются в экзаменационных билетах ЕГЭ в общем виде:

**Алканы**

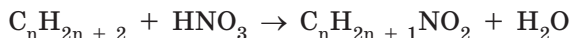
Хлорирование:



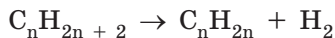
Окисление:



Нитрование:



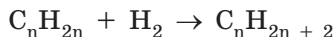
Циклизация:



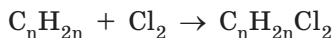
Циклизация с ароматизацией:

**Алкены**

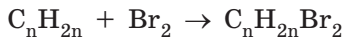
Гидрирование:



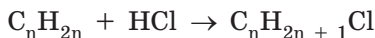
Хлорирование:



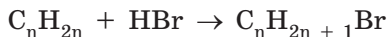
Бромирование:



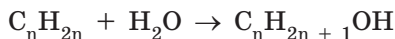
Гидрохлорирование:



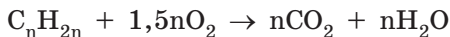
Гидробромирование:



Гидратация:



Горение:

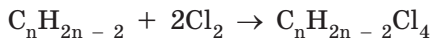


### ***Алкины***

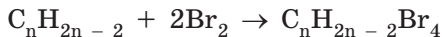
Полное гидрирование:



Полное хлорирование:



Полное бромирование:



Частичное гидрохлорирование:



Частичное гидробромирование:



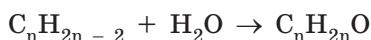
Полное гидрохлорирование:



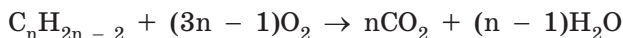
Полное гидробромирование:



Гидратация:

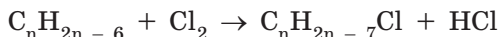


Горение:

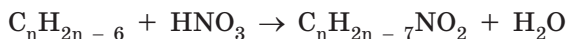


**Арены**

Каталитическое хлорирование:



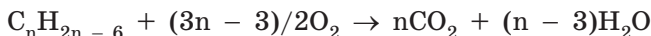
Нитрование:



Восстановление до циклоалканов:

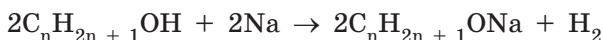


Горение:

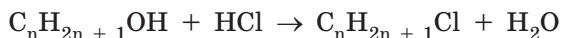


**Предельные одноатомные и двухатомные спирты**

Реакция с натрием:



Взаимодействие с хлороводородом:



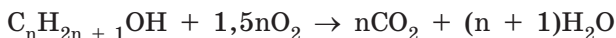
Взаимодействие с бромоводородом:



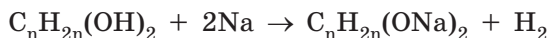
Окисление в альдегиды оксидом меди (II):



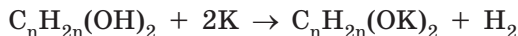
Горение:



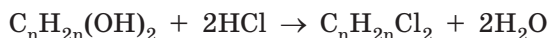
Взаимодействие гликоля с натрием:



Взаимодействие гликоля с калием:

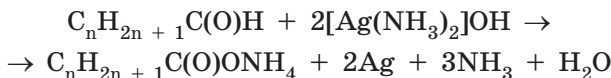


Взаимодействие гликоля с хлороводородом:

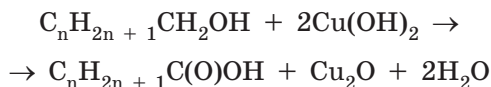


### ***Альдегиды***

Реакция «серебряного зеркала»:

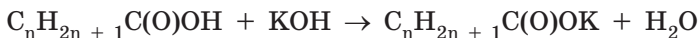


Окисление гидроксидом меди (II):

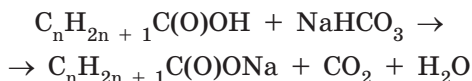


### ***Предельные одноосновные карбоновые кислоты, их соли и сложные эфиры***

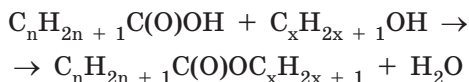
Нейтрализация гидроксидом калия:



Нейтрализация гидрокарбонатом натрия:



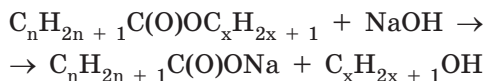
Реакция этерификации:



Декарбоксилирование натриевой соли предельной одноатомной карбоновой кислоты:



Щелочной гидролиз сложного эфира:



### ***Первичные алифатические амины***

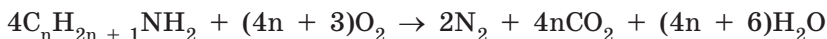
Взаимодействие с хлороводородом:



Взаимодействие с бромоводородом:



Горение:



Рассмотрим несколько типовых задач:

*Установление молекулярной формулы вещества на основании данных элементного анализа*

1. Предельная одноосновная кислота содержит в своем составе 40% С, 6,7% Н, 53,3% О. Установите ее формулу, если плотность ее паров по водороду равна 30.

Решение. Для расчетов выбираем образец вещества массой 100 г, тогда массы элементов в нем будут численно равны их процентному содержанию. Определим количества вещества элементов:

$$n(\text{C}) = m(\text{C})/A(\text{C}); n(\text{C}) = 40/12 = 3,33 \text{ моль};$$

$$n(\text{H}) = m(\text{H})/A(\text{H}); n(\text{H}) = 6,7/1 = 6,7 \text{ моль};$$

$$n(\text{O}) = m(\text{O})/A(\text{O}); n(\text{O}) = 53,3/16 = 3,33 \text{ моль}.$$

Количества вещества элементов относятся между собой как

$$n(\text{C}) : n(\text{H}) : n(\text{O}) = 3,33 : 6,7 : 3,33 = 1 : 2 : 1$$

или, поскольку в молекуле карбоновой кислоты  
два атома кислорода, 2 : 4 : 2.

Следовательно, формула вещества  $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$ .

Определяем молярную массу вещества и сравниваем ее с вычисленной, исходя из плотности по водороду  $M(\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2) = 60 \text{ г/моль}$ ,  $\text{CH}_3\text{COOH}$ .

О т в е т:  $\text{CH}_3\text{COOH}$ .

2. Неорганическое вещество содержит в своем составе 44,8% К, 18,4% серы и 36,8% кислорода по массе. Установите его формулу.



**Решение.** Для расчетов выбираем образец вещества массой 100 г, тогда массы элементов в нем будут численно равны их процентному содержанию. Определим количества вещества элементов:

$$n(K) = m(K)/A(K); n(K) = 44,8/39 = 1,15 \text{ моль};$$

$$n(S) = m(S)/A(S); n(S) = 18,4/32 = 0,575 \text{ моль};$$

$$n(O) = m(O)/A(O); n(O) = 36,8/16 = 2,3 \text{ моль}.$$

Количества вещества элементов относятся между собой как

$$n(K): n(S) : n(O) = 1,15 : 0,575 : 2,3 = 2 : 1 : 4.$$

Следовательно, формула вещества  $K_2SO_4$ .

О т в е т:  $K_2SO_4$ .

3. Соединение, состоящее из азота и водорода, содержит в своем составе 87,5% азота и 12,5% водорода. Установите его истинную формулу, если молярная масса этого соединения равна 32 г/моль.

**Решение.** Для расчетов выбираем образец соединения с массой 100 г, тогда содержание азота и водорода в нем будут соответственно равны 87,5 г и 12,5 г. Определим количество веществ элементов азота и водорода:

$$n(N) = m(N)/A(N); n(N) = 87,5/14 = 6,25 \text{ моль}.$$

$$n(H) = m(H)/A(H); n(H) = 12,5/1 = 12,5 \text{ моль}.$$

Находим отношение количества веществ азота и водорода:

$$n(N) : n(H) = 6,25 : 12,5 = 1 : 2.$$

Таким образом, простейшая формула соединения  $NH_2$ .

Определяем молярную массу соединения с простейшей формулой:

$$M(NH_2) = A(N) + 2A(H); M(NH_2) = 14 + 2 \cdot 1 = 16 \text{ г/моль}.$$

Вычисляем отношение молярных масс:

$$32/16 = 2.$$

Полученное число 2 показывает, во сколько раз нужно увеличить индексы при элементах в простейшей формуле, чтобы получить истинную формулу.

Таким образом, истинная формула соединения  $N_2H_4$ .

О т в е т:  $N_2H_4$ .

4. Содержание кислорода в предельном одноатомном спирте равно 26,7%.

Установите формулу спирта.

Решение. Общая формула гомологического ряда предельных одноатомных спиртов  $C_nH_{2n+1}OH$ . Для расчетов выбираем образец спирта количеством 1 моль, тогда его молярная масса будет равна  $14n + 18$ , а масса кислорода в нем — 16.

По условию задачи:

$$\frac{16}{14n + 18} = 0,267.$$

Решив это уравнение, получим  $n = 3$ .

Ответ:  $C_3H_7OH$ .

5. Установите молекулярную формулу алкана, который содержит в своем составе 83,3% углерода по массе.

Решение. Общая формула гомологического ряда алканов  $C_nH_{2n+2}$ . Для расчетов выбираем образец алкана количеством вещества 1 моль, тогда масса углерода в нем составит  $12n$ , а молярная масса  $12n + 2n + 2 = 14n + 2$ .

По условию задачи

$$\frac{12n}{14n + 2} = 0,833.$$

Решив это уравнение, получим:  $n = 5$ .

Ответ:  $C_5H_{12}$ , пентан.

6. Образец алкена поглотили избытком раствора брома в  $CCl_4$ . При этом массовая доля углерода в исходном алкене оказалась в 2,9 раза больше, чем в дибромалкане. Установите брутто-формулу исходного соединения.

Решение. Общая формула гомологического ряда алкенов  $C_nH_{2n}$ , а содержание углерода во всех алкенах одинаково и равно  $12n/14n = 0,8571$ .

По условию задачи  $\omega(C)$  в дибромалкане равно  $0,8571/2,9 = 0,2956$ .

Общая формула дибромалканов  $C_nH_{2n}Br_2$ ; их молярная масса  $(14n + 160)$  г/моль, а содержание углерода  $\omega(C) = 12n/(14n + 160)$ .

Следовательно,

$$\frac{12n}{(14n+160)} = 0,2956.$$

Решив это уравнение, получим  $n = 6$ .

Ответ:  $C_6H_{12}$ .

7. Алкен прогидрировали в присутствии катализатора. В образовавшемся соединении содержание водорода стало на 1,5% больше. Установите формулу исходного алкена.

Решение. Общая формула гомологического ряда алкенов  $C_nH_{2n}$ , содержание водорода у всех представителей этого ряда одинаково и равно  $2n/14n = 0,143$ , или 14,3%. По условию задачи содержание водорода в конечном алкане стало  $14,3 + 1,5 = 15,8\%$ . Общая формула гомологического ряда алканов  $C_nH_{2n+2}$ , содержание водорода в них составит:

$$\omega(H) = \frac{(2n+2)}{14n+2} = 0,158.$$

Решив это уравнение относительно  $n$ , получим  $n = 8$ .

Ответ:  $C_8H_{16}$ .

8. В соединении класса диолов содержание углерода на 17,8% больше, чем содержание кислорода. Установите формулу соединения.

Решение. Общая формула гомологического ряда диолов  $C_nH_{2n+2}O_2$ , молярная масса  $12n + 2n + 2 \cdot 16 = 14n + 32$ . Содержание кислорода:

$$\omega(O) = \frac{32}{14n+32} \cdot 100;$$

содержание углерода:

$$\omega(C) = \frac{12n}{14n+32} \cdot 100.$$

$$\text{По условию задачи } \frac{3200}{14n+32} + 17,8 = \frac{1200n}{14n+32}.$$

Решив это уравнение, получим  $n = 4$ .

Ответ:  $C_4H_{10}O_2$ .

9. Содержание калия в соли предельной одноосновной карбоновой кислоты равно 46,43%. Установите формулу этой соли.

Решение. Для расчетов выбираем образец вещества количеством 1 моль. Общая формула калиевых солей предельных одноосновных карбоновых кислот  $C_nH_{2n+1}COOK$ , а их молярная масса в общем виде равна  $(14n + 84)$  г/моль. Атомная масса калия — 39 г/моль. Следовательно,

$$\frac{39}{14n+84} = 0,4643.$$

Решив это уравнение, получим  $n = 0$ .

У многих учащихся такой результат вызывает недоумение. Между тем ничего сложного в нем нет, поскольку гомологический ряд предельных одноосновных карбоновых кислот начинается муравьиная кислота, у которой только один атом углерода.

Формула соли  $HC(O)OK$ .

О т в е т:  $HC(O)OK$ .

10. Этиловый эфир предельной одноосновной карбоновой кислоты содержит в своем составе 36,36% кислорода по массе. Установите структурную формулу этого эфира.

Решение. Для расчетов выбираем образец вещества количеством 1 моль. Общая формула этилового эфира предельных одноосновных карбоновых кислот будет  $C_nH_{2n+1}C(O)OCH_2CH_3$ , а его молярная масса в общем виде равна  $(14n + 74)$  г/моль. Общая масса двух атомов кислорода равна  $2 \cdot 16 = 32$  г/моль. Следовательно,

$$\frac{32}{14n+74} = 0,3636.$$

Решив это уравнение, получим  $n = 1$ .

О т в е т:  $CH_3C(O)OCH_2CH_3$ .

11. Установите молекулярную формулу предельного трехатомного спирта, если масса углерода в нем в 4,8 раза больше, чем масса водорода.

**Решение.** Для расчетов выбираем образец вещества количеством 1 моль. Общая формула предельного трехатомного спирта  $C_nH_{2n-1}(OH)_3$ ; масса углерода будет равна  $12n$ , масса водорода —  $(2n + 2)$ . Следовательно,

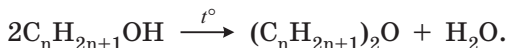
$$\frac{12n}{2n + 42} = 4,8.$$

Решив это уравнение, получим  $n = 4$ .

О т в е т:  $C_4H_7(OH)_3$ .

**12.** При межмолекулярной дегидратации предельного одноатомного спирта получен простой эфир с массовой долей углерода в нем 73,47%. Определите молекулярную формулу исходного спирта.

**Решение.** Образование простого эфира в результате межмолекулярной дегидратации спирта можно описать уравнением:



Для расчетов выбираем образец простого эфира количеством 1 моль. Формула эфира в общем виде —  $(C_nH_{2n+1})_2O$ , масса углерода в нем —  $24n$ , а его молярная масса в общем виде равна  $(28n + 18)$  г/моль. Следовательно,

$$\frac{24n}{28n + 18} = 0,7347.$$

Решив это уравнение, получим  $n = 3$ .

Следовательно, формула исходного спирта  $C_3H_7OH$ .

О т в е т:  $C_3H_7OH$ .

**Установление молекулярной формулы вещества по соотношению реагентов**

Такие задачи предлагались на ЕГЭ до 2014 года включительно и максимально оценивались на три балла. Для их правильного решения было необходимо:

- 1) составить уравнение реакции в общем виде и вычислить количество вещества какого-либо реагента;
- 2) рассчитать молярную массу другого реагента;
- 3) установить его молекулярную формулу.

Пример одной из демоверсий прошлых лет:

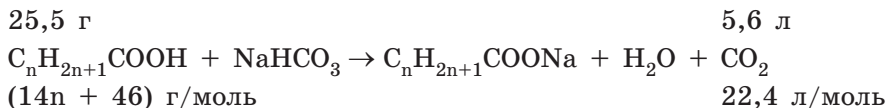
При взаимодействии 25,5 г предельной одноосновной карбоновой кислоты с избытком раствора гидрокарбоната натрия выделилось 5,6 л (н.у.) газа. Определите молекулярную формулу кислоты.

| Содержание верного ответа и указания по оцениванию (допускаются иные формулировки ответа, не искажающие его смысла)   | Баллы |
|---|-------|
| <p>Элементы ответа.</p> <p>1) Составлено уравнение реакции в общем виде, и вычислено количество вещества газа:</p> $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{COOH} + \text{NaHCO}_3 = \text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{COONa} + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ $n(\text{CO}_2) = 5,6/22,4 = 0,25 \text{ моль}$ <p>2) Рассчитана молярная масса кислоты:</p> $n(\text{CO}_2) = n(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{COOH}) = 0,25 \text{ моль}$ $M(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{COOH}) = 25,5/0,25 = 102 \text{ г/моль}$ <p>3) Установлена молекулярная формула кислоты:</p> $M(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{COOH}) = 12n + 2n + 1 + 45 = 102$ $14n + 46 = 102$ $14n = 56$ $n = 4$ <p>Молекулярная формула — <math>\text{C}_4\text{H}_9\text{COOH}</math></p> |       |
| Ответ правильный и полный, включает все названные выше элементы   | 3     |
| Правильно записаны первый и второй элементы ответа  | 2     |
| Правильно записан первый или второй элементы ответа   | 1     |
| Все элементы ответа записаны неверно  | 0     |
| <i>Максимальный балл</i>  | 3     |

\* *Примечание.* В случае, когда в ответе содержится ошибка в вычислениях в одном из элементов (втором, третьем или четвертом), которая привела к неверному ответу, оценка за выполнение задания снижается только на 1 балл.

Элементы ответа предусматривают промежуточное вычисление количества вещества углекислого газа и приравнивание его к количеству вещества кислоты. Это лишнее действие. Иным более коротким и наглядным способом решения данной задачи будет метод пропорции.

Составляем уравнение химической реакции в общем виде, проставляем над формулами карбоновой кислоты и углекислого газа известные значения массы и объема, а под формулами — молярную массу кислоты в общем виде и объем Авогадро для углекислого газа:



По правилу пропорции:

$$(14n + 46) = \frac{25,5 \cdot 22,4}{5,6} = 102;$$

$$14n = 102 - 46 = 56;$$

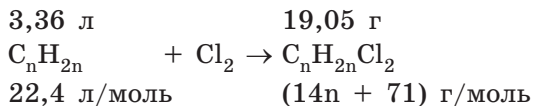
$$n = 4.$$

Молекулярная формула —  $\text{C}_4\text{H}_9\text{COOH}$ .

Подчеркнем еще раз: официального запрета на решение задач методом пропорции не существует. Предметом оценки выполнения таких заданий является последовательность рассуждений при составлении ответа и его правильность.

**13.** В результате взаимодействия алкена объемом 3,36 л (н.у.) с хлором образовалось 19,05 г хлорпроизводного. Установите молекулярную формулу алкена.

**Решение.** Составляем уравнение химической реакции в общем виде, проставляем над формулами алкена и дихлоралкана соответствующие значения объема и массы, а под их формулами — объем Авогадро и молярную массу дихлоралкана в общем виде:



По правилу пропорции:

$$(14n + 71) = \frac{19,05 \cdot 22,4}{3,36};$$

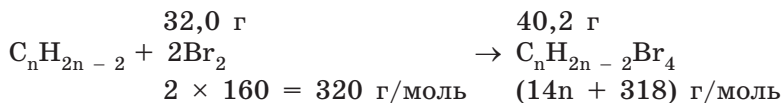
$$14n = 127 - 71;$$

$$n = 4.$$

Ответ:  $\text{C}_4\text{H}_8$ .

14. Углеводород ряда алкинов максимально может присоединить 32,0 г брома с образованием продукта реакции массой 40,2 г. Установите молекулярную формулу алкина.

Решение. Составляем уравнение химической реакции в общем виде, проставляем над формулами брома и дибромалкана их массы, а под их формулами — молярную массу брома с учетом стехиометрического коэффициента и молярную массу тетрабромалкана в общем виде:



По правилу пропорции:

$$(14n + 318) = \frac{320 \cdot 40,2}{32};$$

$$14n = 402 - 318;$$

$$n = 6.$$

Ответ:  $\text{C}_6\text{H}_{10}$ .

15. Установите формулу алкина, если известно, что его образец массой 27,2 г максимально может присоединить 7,2 г воды.

Решение. Составляем уравнение химической реакции:



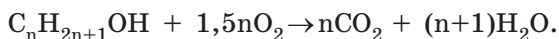
Определим количество вещества воды, вступившей в реакцию. Оно равно  $7,2/18 = 0,4$  моль. Следовательно, количество вещества алкина также равно 0,4 моль. Определим его молярную массу  $M(\text{C}_n\text{H}_{2n-2}) = 27,2/0,4 = 68$  г/моль. Молярная масса алкинов  $M(\text{C}_n\text{H}_{2n-2}) = 14n - 2$ . По условию задачи  $14n - 2 = 68$ . Отсюда  $n = 5$ .

Ответ:  $\text{C}_5\text{H}_8$ .

16. При сгорании в кислороде образца предельного одноатомного спирта количеством вещества 2,5 моль образовалось 224 л углекислого газа. Установите формулу спирта.



**Решение.** Составляем уравнение химической реакции:



Определим объем углекислого газа, который выделится при сгорании 1 моль спирта:

$$2,5 \text{ моль} — 224 \text{ л};$$

$$1 \text{ моль} — x = 89,6 \text{ л}.$$

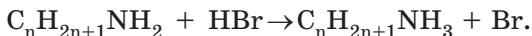
Определим количество вещества  $CO_2$ :

$$n(CO_2) = \frac{89,6 \text{ л}}{24,4 \text{ л/моль}} = 4 \text{ моль. Из уравнения реакции следует, что } n = 4.$$

**Ответ:**  $C_4H_9OH$ .

**17.** Первичный амин массой 11,8 г полностью прореагировал с 16,2 г бромоводорода. Установите формулу амина.

**Решение.** Составим уравнение химической реакции:



Определим количество вещества бромоводорода:

$$n(HBr) = m(HBr)/M(HBr);$$

$$n(HBr) = 16,2/81 = 0,2 \text{ моль}.$$

Из уравнения реакции следует, что  $n(C_nH_{2n+1}NH_2) = 0,2 \text{ моль}$ .

Определим молярную массу амина:

$$M(C_nH_{2n+1}NH_2) = m(C_nH_{2n+1}NH_2)/n(C_nH_{2n+1}NH_2);$$

$$M(C_nH_{2n+1}NH_2) = 11,8/0,2 = 59 \text{ г/моль}.$$

Молярная масса амина равна  $(12n + 2n + 1 + 14 + 2) = 59 \text{ г/моль}$ .

Отсюда  $n = 3$ .

**Ответ:**  $C_3H_7NH_2$ .

**18.** Установите брутто-формулу алкана, если известно, что для сжигания порции этого вещества, содержащего  $1,806 \cdot 10^{23}$  молекул, требуется порция кислорода, содержащая  $1,806 \cdot 10^{24}$  атомов кислорода.

**Решение.** Составляем в общем виде реакцию горения алкана:



Вычисляем количество вещества алкана:

$$\begin{aligned} n(\text{C}_n\text{H}_{2n+2}) &= N/N_A; \quad n(\text{C}_n\text{H}_{2n+2}) = \\ &= 1,806 \cdot 10^{23} / 6,02 \cdot 10^{23} = 0,3 \text{ моль.} \end{aligned}$$

Молекула кислорода состоит из двух атомов кислорода. Вычислим количество вещества молекулярного кислорода:

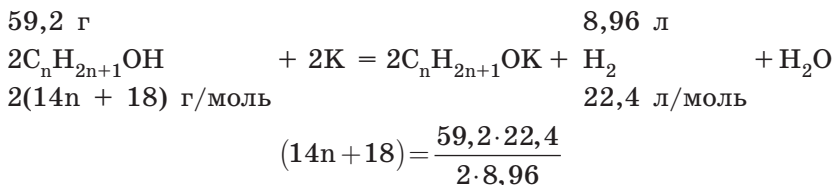
$$\begin{aligned} n(\text{O}_2) &= N(\text{O})/2N_A; \quad n(\text{O}_2) = \\ &= 1,806 \cdot 10^{24} / 2 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} = 1,5 \text{ моль.} \end{aligned}$$

Из уравнения химической реакции следует, что  $(1,5n + 0,5) \cdot n(\text{C}_n\text{H}_{2n+2}) = n(\text{O}_2)$ , т. е.  $0,3 \cdot (1,5n + 0,5) = 1,5$ . Решив это уравнение, получим  $n = 3$ .

**Ответ:**  $\text{C}_3\text{H}_8$ .

**19.** При взаимодействии 59,2 г предельного одноосновного спирта с избытком металлического калия выделилось 8,96 л водорода. Запишите уравнение реакции в общем виде. Определите молекулярную формулу спирта.

**Решение.** Составляем уравнение реакции в общем виде:

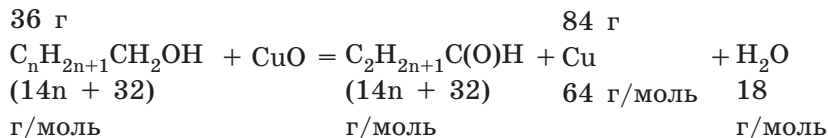


Решив это уравнение, получим  $n = 4$ .

**Ответ:**  $\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$ .

**20.** Предельный одноатомный спирт массой 36 г окислили на оксиде меди (II). Общая масса продуктов окисления составила 84 г. Составьте уравнение реакции в общем виде. Установите молекулярную формулу спирта.

**Решение.** Представим формулу предельного одноатомного спирта как  $C_nH_{2n+1}CH_2OH$  и составим уравнение реакции в общем виде:



Из этого уравнения следует, что общая молярная масса продуктов реакции составит  $14n + 30 + 64 + 18 = (14n + 112)$  г/моль, тогда:

$$36(14n + 112) = 84(14n + 32), \text{ откуда } n = 2.$$

**Ответ:**  $C_3H_7OH$ .

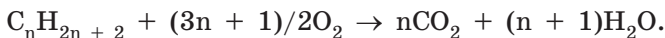
Начиная с 2015 года задачи на установление формулы и структуры вещества оценивают максимально на четыре первичных балла. При этом несколько усложнилось и типовое задание.

**21.** Для полного окисления одного объема алкана требуется в восемь раз больший объем кислорода (н.у.). При его нитровании в газовой фазе образуется только одно нитропроизводное.

На основании данных условия задания:

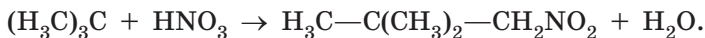
- 1) произведите необходимые вычисления;
- 2) установите молекулярную формулу исходного вещества;
- 3) составьте структурную формулу вещества, которая однозначно отражает порядок связи атомов в его молекуле;
- 4) напишите уравнение его реакции с азотной кислотой.

**Решение.** Составляем уравнение полного окисления алкана в общем виде:



По условию задачи  $(3n + 1)/2 = 8$ ;  $n = 5$ ,  $C_5H_{12}$ .

Из всех возможных изомеров пентана только 2,2-диметилпропан в реакции нитрования даст единственный изомер: 1-нитро-2,2-диметилпропан:

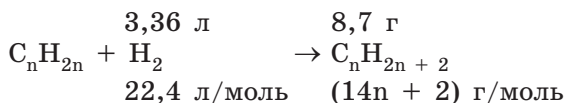


**22.** На каталитическое гидрирование алкена разветвленного строения израсходовали 3,36 л водорода. При этом получили 8,7 г алкана (выход реакции считать 100%-ным).

На основании данных условия задания:

- 1) произведите необходимые вычисления;
- 2) установите молекулярную формулу исходного вещества;
- 3) составьте структурную формулу вещества, которая однозначно отражает порядок связи атомов в его молекуле;
- 4) напишите уравнение реакции гидратации алкена.

**Решение.** Составляем уравнение гидрирования алкена в общем виде, проставляем известные значения объема и массы и по правилу пропорции вычислим количество атомов углерода  $n$  в алкане:



$$14n + 2 = (22,4 \cdot 8,7) / 3,36;$$

$$n = 4.$$

По условию задачи структурная формула алкена разветвленного строения 2-метилпропен  $\text{H}_2\text{C}=\text{C}(\text{CH}_3)\text{CH}_3$ .

Гидратация этого соединения протекает по правилу Марковникова с образованием 2-метилпропанола-2:



**23.** При гидробромировании алкена получен только один бромалкан, молярная масса которого в 2,45 раз больше, чем молярная масса исходного алкена (выход реакции считать 100%-ным).

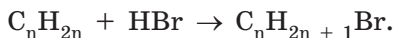
На основании данных условия задания:

- 1) произведите необходимые вычисления;
- 2) установите молекулярную формулу исходного вещества;

3) составьте структурную формулу вещества, которая однозначно отражает порядок связи атомов в его молекуле;

4) напишите уравнение реакции гидрирования алкена.

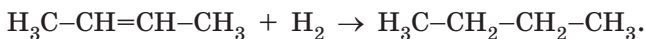
Решение. Составляем уравнение реакции гидробромирования в общем виде:



Молярная масса алкена в общем виде равна  $14n$  г/моль, а монобромалкана —  $(14n + 81)$  г/моль. По условию задачи  $(14n + 81)/14n = 2,45$ . Решив это уравнение, получим  $n = 4$ .

Из всех возможных изомеров бутена только бутен-2 даст один изомер бромалкана при гидробромировании.

Реакция гидрирования бутена-2 описывается следующим уравнением:

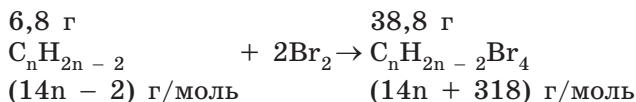


24. При взаимодействии алкина разветвленного строения массой 6,8 г с избытком бромной воды получено 38,8 г тетрабромалкана (выход реакции считать 100%-ным).

На основании данных условия задания:

- 1) произведите необходимые вычисления;
- 2) установите молекулярную формулу исходного вещества;
- 3) составьте структурную формулу вещества, которая однозначно отражает порядок связи атомов в его молекуле;
- 4) напишите уравнение реакции алкина с аммиачным раствором нитрата серебра.

Решение. Составляем уравнение реакции в общем виде:

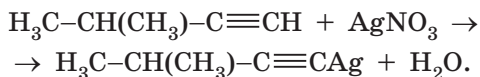


По условию задачи  $6,8/(14n - 2) = 38,8/(14n + 318)$ .

Решив это уравнение, получим  $n = 5$ .

Единственным изомером пентина, который имеет разветвленный радикал и способен к реакциям замещения, является 3-метилбутин-1.

Его реакцию с аммиачным раствором нитрата серебра можно описать уравнением:

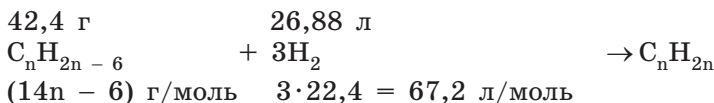


**25.** На каталитическое гидрирование арена массой 42,4 г израсходовали 26,88 л водорода (н.у.). Известно, что при окислении этого арена подкисленным раствором перманганата калия кроме неорганических солей образуются бензойная кислота и углекислый газ.

На основании данных условия задания:

- 1) произведите необходимые вычисления;
- 2) установите молекулярную формулу исходного вещества;
- 3) составьте структурную формулу вещества, которая однозначно отражает порядок связи атомов в его молекуле;
- 4) напишите уравнение реакции нитрования арена эквимольным количеством азотной кислоты.

**Решение.** Составляем уравнение реакции:



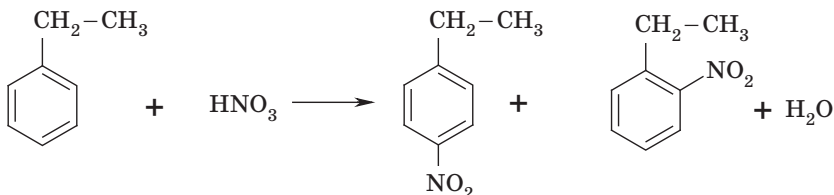
Определим  $n$ :

$$(14n - 6) = (42,2 \cdot 67,2) / 26,88;$$

$$n = 8.$$

Единственным из аренов с молекулярной формулой  $\text{C}_8\text{H}_{10}$ , который при окислении даст углекислый газ и бензойную кислоту, будет этилбензол.

Его нитрование эквимольным количеством бензойной кислоты приведет к смеси *орто*- и *пара*-нитроэтилбензолов.



***Установление молекулярной формулы вещества на основании данных о продуктах сгорания***

При определении формулы вещества по продуктам сгорания необходимо:

- 1) вычислить количества вещества продуктов сгорания;
- 2) вычислить количества вещества и массы химических элементов;
- 3) проверить, содержался ли в исходном веществе кислород;
- 4) установить простейшую формулу вещества, а при наличии дополнительных данных — истинную формулу.

Поясним сказанное несколькими примерами.

**26.** При сгорании навески органического вещества массой 11,6 г образовалось 17,92 л углекислого газа (н.у.) и 18,0 г воды. Известно, что это вещество имеет нормальное строение, а плотность его паров по воздуху равна 2.

На основании данных условия задания:

- 1) произведите необходимые вычисления;
- 2) установите молекулярную формулу исходного вещества;
- 3) составьте структурную формулу вещества, которая однозначно отражает порядок связи атомов в его молекуле;
- 4) напишите уравнение реакции каталитического окисления этого соединения.

**Решение.** Определим количества вещества углекислого газа и воды:

$$n(\text{CO}_2) = 17,92/22,4 = 0,8 \text{ моль};$$

$$n(\text{H}_2\text{O}) = 18/18 = 1 \text{ моль}.$$

Определим количество вещества углерода и водорода как химических элементов:

$$n(\text{C}) = n(\text{CO}_2) = 0,8 \text{ моль};$$

$n(\text{H}) = 2n(\text{H}_2\text{O}) = 2 \text{ моль}$ , так как в состав молекулы воды входят два атома водорода.

Определим массы углерода и водорода в исходном соединении:

$$m(\text{C}) = 0,8 \cdot 12 = 9,6 \text{ г};$$

$$m(\text{H}) = 2 \cdot 1 = 2 \text{ г}.$$

Общая масса углерода и водорода составит  $9,6 + 2 = 11,6 \text{ г}$ . Следовательно, в составе исходного органического вещества кислорода нет.

$n(\text{C}) : n(\text{H}) = 0,8 : 2 = 1 : 2,5$ . Следовательно, простейшая формула вещества  $\text{CH}_{2,5}$ , а молярная масса простейшего фрагмента равна  $12 + 1 \cdot 2,5 = 14,5$ .

Определим молярную массу исходного вещества:

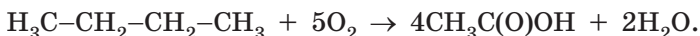
$$M = 2 \cdot 29 = 58 \text{ г/моль} \text{ (29 — молярная масса воздуха)}.$$

Определим коэффициент перехода от простейшей формулы к истинной:

$$58/14,5 = 4.$$

Тогда истинная формула вещества  $\text{C}_4\text{H}_{10}$ , а его структурная формула с учетом дополнительного условия о нормальном строении углеродного скелета будет следующей:  $\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$ .

Каталитическое окисление н-бутана приведет к образованию уксусной кислоты:



**27.** При сгорании навески органического вещества массой 12,4 г образовалось 8,96 л углекислого газа (н.у.) и 10,8 г воды. Плотность паров вещества по водороду равна 31.

На основании данных условия задания:

- 1) произведите необходимые вычисления;
- 2) установите молекулярную формулу исходного вещества;
- 3) составьте структурную формулу вещества, которая однозначно отражает порядок связи атомов в его молекуле;
- 4) напишите уравнение реакции гидрохлорирования этого соединения.



**Решение.** Определим количества вещества углекислого газа и воды:

$$\begin{aligned}n(\text{CO}_2) &= 8,96/22,4 = 0,4 \text{ моль;} \\n(\text{H}_2\text{O}) &= 10,8/18 = 0,6 \text{ моль.}\end{aligned}$$

Определим количество вещества углерода и водорода как химических элементов:

$$n(\text{C}) = n(\text{CO}_2) = 0,4 \text{ моль};$$

$n(\text{H}) = 2n(\text{H}_2\text{O}) = 1,2$  моль, так как в состав молекулы воды входят два атома водорода.

Определим массы углерода и водорода в исходном соединении:

$$\begin{aligned}m(\text{C}) &= 0,4 \cdot 12 = 4,8 \text{ г;} \\m(\text{H}) &= 1,2 \cdot 1 = 1,2 \text{ г.}\end{aligned}$$

Общая масса углерода и водорода составит  $4,8 + 1,2 = 6$  г. Следовательно, в состав исходного органического вещества входит кислород массой  $12,4 - 6 = 6,4$  г.

Определим количество вещества кислорода как химического элемента:

$$n(\text{O}) = 6,4/16 = 0,4 \text{ моль};$$

$n(\text{C}) : n(\text{H}) : n(\text{O}) = 0,4 : 1,2 : 0,4 = 1 : 3 : 1$ . Следовательно, простейшая формула вещества  $\text{CH}_3\text{O}$ , а молярная масса простейшего фрагмента равна  $12 + 3 + 16 = 31$ .

Определим молярную массу исходного вещества:

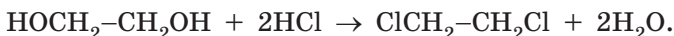
$$M = 31 \cdot 2 = 62 \text{ г/моль (2 — молярная масса водорода).}$$

Определим коэффициент перехода от простейшей формулы к истинной:

$$62/31 = 2.$$

Тогда истинная формула вещества  $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$ , а его структурная формула будет следующей:  $\text{HOCH}_2\text{—CH}_2\text{OH}$ , поскольку две гидроксильные группы не могут находиться при одном и том же атоме углерода.

Уравнение реакции гидрохлорирования:



**28.** При сгорании навески органического вещества массой 30,0 г образовалось 17,92 л углекислого газа, 4,48 л азота (н.у.) и 18,0 г воды. Известно, что это вещество вступает в реакцию с хлоридом фосфора (V).

На основании данных условия задания:

- 1) произведите необходимые вычисления;
- 2) установите молекулярную формулу исходного вещества;
- 3) составьте структурную формулу вещества, которая однозначно отражает порядок связи атомов в его молекуле;
- 4) напишите уравнение реакции этого соединения с метиловым спиртом.

**Решение.** Определим количества вещества углекислого газа, азота и воды:

$$n(\text{CO}_2) \ 17,92/22,4 = 0,8 \text{ моль};$$

$$n(\text{N}_2) \ 4,48/22,4 = 0,2 \text{ моль};$$

$$n(\text{H}_2\text{O}) = 18/18 = 1 \text{ моль}.$$

Определим количества вещества углерода, азота и водорода как химических элементов:

$$n(\text{C}) = n(\text{CO}_2) = 0,8 \text{ моль};$$

$n(\text{N}) = 2n(\text{N}_2) \ 2 \cdot 0,2 = 0,4 \text{ моль}$ , так как в состав молекулы азота входят два атома азота;

$n(\text{H}) = 2n(\text{H}_2\text{O}) = 1 \cdot 2 = 2 \text{ моль}$ , так как в состав молекулы воды входят два атома водорода.

Определим массы углерода, азота и водорода в исходном соединении:

$$m(\text{C}) = 0,8 \cdot 12 = 9,6 \text{ г};$$

$$m(\text{N}) = 0,4 \cdot 14 = 5,6 \text{ г};$$

$$m(\text{H}) = 2 \cdot 1 = 2 \text{ г}.$$

Общая масса углерода, азота и водорода составит  $9,6 + 5,6 + 2 = 17,2 \text{ г}$ . Следовательно, в состав исходного органического вещества входит кислород массой  $30,0 - 17,2 = 12,8 \text{ г}$ .

Определим количество вещества кислорода как химического элемента:

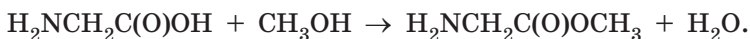
$$n(\text{O}) = 12,8/16 = 0,8 \text{ моль};$$

$$n(\text{C}) : n(\text{N}) : n(\text{H}) : n(\text{O}) = 0,8 : 0,4 : 2 : 0,8 = 2 : 1 : 5 : 2.$$

Следовательно, простейшая формула вещества  $\text{C}_2\text{H}_5\text{NO}_2$ .

Из возможных изомеров этого вещества с хлоридом фосфора (V) будет реагировать только аминокусная кислота  $\text{H}_2\text{NCH}_2\text{C}(\text{O})\text{OH}$ .

Уравнение реакции аминокусной кислоты с метиловым спиртом:



*Другие типы задач на установление формулы веществ*

**29.** В образце газа, являющегося простым веществом, объемом 5,6 л содержится  $3,61 \cdot 10^{24}$  электрона. Установите формулу газа.

Решение. Количество вещества газа  $n = 5,6/22,4 = 0,25$  моль. Определим число электронов в 1 моль газа:

$$N(e^-) = \frac{3,61 \cdot 10^{24}}{0,25} = 1,444 \cdot 10^{25}.$$

Определим количество электронов в одной молекуле вещества. Оно равно:

$$\frac{1,444 \cdot 10^{25}}{6,02 \cdot 10^{23}} = 24.$$

Простое вещество может быть одно-, двух- и трехатомной молекулой.

Химический элемент с порядковым номером 24 — хром — металл. Если предположить, что газ — двухатомная молекула, то порядковый номер элемента  $24/2 = 12$ . Но это порядковый номер химического элемента магния. И только предположение, что газ — трехатомная молекула, удовлетворяет условию задачи. Порядковый номер элемента  $24/3 = 8$ . Это кислород. Формула газа —  $\text{O}_3$ , озон.

Ответ:  $\text{O}_3$ , озон.

- 30.** Плотность одного из газов, являющихся простым при нормальных условиях, равна 1,786 г/л. Установите формулу газа.

**Решение.** При нормальных условиях 1 моль любого газа занимает объем 22,4 л и имеет массу, численно равную молярной. Определим массу 22,4 л газа:

$$M = \rho \cdot V_A, M = 1,786 \cdot 22,4 = 40.$$

Следовательно, молярная масса газа равна 40 г/моль. Это аргон.

**Ответ:** Ar, аргон.

- 31.** В газовой смеси паров циклоалкана с углекислым газом его объемная доля составляет 60%, а массовая — 65,63%. Установите брутто-формулу циклоалкана.

**Решение.** Для расчетов выбираем образец газовой смеси объемом 22,4 л, тогда объем циклоалкана в ней составит  $0,6 \cdot 22,4 = 13,44$  л, а объем  $\text{CO}_2$  —  $22,4 - 13,44 = 8,96$  л.

$$\begin{aligned} n(\text{C}_n\text{H}_{2n}) &= 13,44/22,4 = 0,6 \text{ моль;} \\ n(\text{CO}_2) &= 8,96/22,4 = 0,4 \text{ моль.} \end{aligned}$$

Обозначим молярную массу циклоалкана  $x$ , тогда его масса в смеси составит  $0,6x$ , а масса  $\text{CO}_2$  —  $44 \cdot 0,4 = 17,6$  л. По условию задачи:

$$\frac{0,6x}{0,6x + 17,6} = 0,6563.$$

Решив это уравнение относительно  $x$ , установим, что молярная масса циклоалкана равна 56 г/моль. Общая формула циклоалканов  $\text{C}_n\text{H}_{2n}$ , молярная масса в общем виде равна  $14n$ . Следовательно,  $14n = 56$ ;  $n = 4$ , брутто-формула циклоалкана  $\text{C}_4\text{H}_8$ .

**Ответ:**  $\text{C}_4\text{H}_8$ .

- 32.** Установите формулу первичного одноатомного спирта, если известно, что число протонов в его молекуле в 3 раза больше числа атомов.

**Решение.** Общая формула предельных одноатомных спиртов  $C_nH_{2n+1}OH$ , следовательно, общее число атомов в молекуле  $3n+3$ . В ядре атома углерода 6 протонов, водорода — 1 и кислорода — 8 протонов. Таким образом, общее число протонов в молекуле спирта  $6n + 2n + 1 + 8 + 1 = 8n + 10$ .

По условию задачи  $\frac{8n + 10}{3n + 3} = 3$ , отсюда  $n = 1$ , метанол.

О т в е т:  $CH_3OH$ .

**33.** В образце кристаллогидрата сульфата цинка массой 22,42 г число атомов водорода равно числу Авогардо. Установите формулу кристаллогидрата.

**Решение.** Представим формулу кристаллогидрата сульфата цинка в общем виде:  $ZnSO_4 \cdot nH_2O$ , где  $n$  — число молекул кристаллизационной воды. Из этой формулы следует, что в образце кристаллогидрата количеством вещества 1 моль число атомов водорода составит  $2 \cdot n \cdot N_A$ .

Молярная масса кристаллогидрата равна  $(161 + n \cdot 18)$  г/моль, где 161 — молярная масса сульфата цинка, г/моль;  $n$  — число молекул кристаллизационной воды.

Отсюда следует:

$$\begin{aligned} (161 + 18n) \text{ г } (ZnSO_4 \cdot nH_2O) &= 2 \cdot n \cdot N_A(H) \\ 22,42 \text{ г } (ZnSO_4 \cdot nH_2O) &= N_A(H); \\ n &= 6; ZnSO_4 \cdot 6H_2O \end{aligned}$$

О т в е т:  $ZnSO_4 \cdot 6H_2O$ .

**34.** Массовая доля кислорода в кристаллогидрате сульфата кобальта равна 62,63%. Установите формулу кристаллогидрата.

**Решение.** Представим формулу кристаллогидрата сульфата цинка в общем виде:  $CoSO_4 \cdot nH_2O$ , где  $n$  — число молекул кристаллизационной воды. Из этой формулы следует, что число атомов кислорода в молекуле кристаллогидра-

та равно  $n + 4$ , а молярная масса кристаллогидрата равна  $(155 + n \cdot 18)$  г/моль. По условию задачи:

$$\omega(\text{O}) = \frac{16(4 + n)}{155 + 18n}; \quad 0,6263 = \frac{16(4 + n)}{155 + 18n}$$

Решив это уравнение, получим:  $n = 7$ .

Ответ:  $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ .

**35.** При сжигании навески органического вещества массой 27,3 г получено 36,7 л (н.у.) углекислого газа и 16,4 г воды. При гидролизе этого вещества в водном растворе гидроксида натрия образуются две соли. Напишите уравнение гидролиза исходного вещества в присутствии гидроксида натрия.

**Решение.** Определим количества вещества продуктов сгорания.

$$n(\text{CO}_2) = V(\text{CO}_2)/V_A; \quad n(\text{CO}_2) = 36,7/22,4 = 1,64 \text{ моль.}$$

$$n(\text{H}_2\text{O}) = m(\text{H}_2\text{O})/M(\text{H}_2\text{O}); \quad n(\text{H}_2\text{O}) = 16,4/18 = 0,91 \text{ моль.}$$

Определим количество вещества и массы углерода и водорода как химических элементов:

$$n(\text{C}) = n(\text{CO}_2) = 1,64 \text{ моль}; \quad m(\text{C}) = 1,64 \cdot 12 = 19,68 \text{ г.}$$

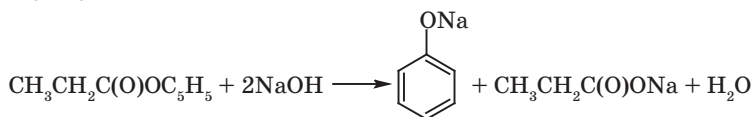
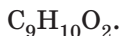
$$n(\text{H}) = 2n(\text{H}_2\text{O}) = 2 \cdot 0,91 = 1,82 \text{ моль}; \quad m(\text{H}) = 1,82 \cdot 1 = 1,82 \text{ г.}$$

Определим массу и количество вещества кислорода как химического элемента:

$$m(\text{O}) = 27,3 - 19,68 - 1,82 = 5,8 \text{ г.}$$

$$n(\text{O}) = m(\text{O})/A(\text{O}); \quad n(\text{O}) = 5,8/16 = 0,3625 \text{ моль.}$$

$$n(\text{C}) : n(\text{H}) : n(\text{O}) = 1,64 : 1,82 : 0,3625 = 4,52 : 5 : 1 = 9 : 10 : 2.$$



36. При сжигании образца органического вещества массой 8,18 г получено 14,78 г углекислого газа и 5,04 г воды. При нагревании с водным раствором гидроксида калия данное вещество подвергается гидролизу с образованием двух продуктов, один из которых имеет состав  $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$ . Напишите уравнение реакции щелочного гидролиза исходного вещества в растворе гидроксида калия.

**Решение.** Определим количества вещества продуктов сгорания.

$$n(\text{CO}_2) = m(\text{CO}_2)/M(\text{CO}_2); n(\text{CO}_2) = (14,78)/44 = 0,336 \text{ моль.}$$

$$n(\text{H}_2\text{O}) = m(\text{H}_2\text{O})/M(\text{H}_2\text{O}); n(\text{H}_2\text{O}) = 5,04/18 = 0,28 \text{ моль.}$$

Определим количество вещества и массы углерода и водорода как химических элементов:

$$n(\text{C}) = n(\text{CO}_2) = 0,336 \text{ моль}; m(\text{C}) = 0,336 \cdot 12 = 4,03 \text{ г.}$$

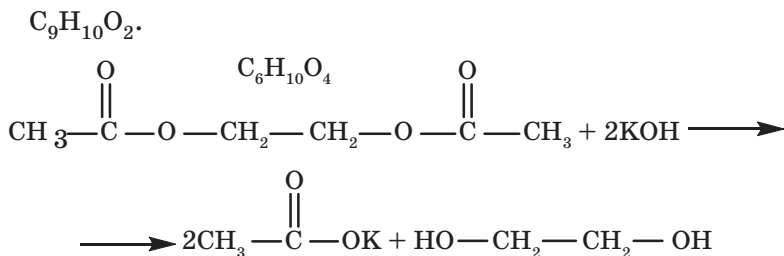
$$n(\text{H}) = 2n(\text{H}_2\text{O}) = 2 \cdot 0,28 = 0,56 \text{ моль}; m(\text{H}) = 0,56 \cdot 1 = 0,56 \text{ г.}$$

Определим массу и количество вещества кислорода как химического элемента:

$$m(O) = 8,18 - 4,03 - 0,56 = 3,59 \text{ г.}$$

$$n(\text{O}) = m(\text{O})/A(\text{O}); n(\text{O}) = 3,59/16 = 0,224 \text{ моль.}$$

$$\begin{aligned} n(\text{C}) : n(\text{H}) : n(\text{O}) &= 0,336 : 0,56 : 0,224 = 1,5 : 2,5 : 1 = \\ &= 6 : 10 : 4. \end{aligned}$$



## СПИСОК ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

*Каверина А. А., Снастина М. Г.* Методические материалы для председателей и членов предметных комиссий субъектов Российской Федерации по проверке выполнения заданий с развернутым ответом экзаменационных работ ЕГЭ 2018 года. — ФИПИ, 2017. URL: <http://fipi.ru>.

*Антошин А. Э.* ЕГЭ 2019. Химия. Теория и практика. — М.: Эксмо, 2018.

*Медведев Ю. Н., Антошин А. Э., Рябов М. А.* ЕГЭ 2019. Химия. Эксперт в ЕГЭ. М.: Экзамен, 2018. — 432 с.

*Мешкова О. В.* ЕГЭ. Химия: универсальный справочник. М.: Эксмо, 2020.

*Пашкова Л. И.* ЕГЭ 2021. Химия. Тренировочные варианты. М.: Эксмо, 2020.

*Соколова И. А.* ЕГЭ 2021. Химия. Тематические тренировочные задания. М.: Эксмо, 2020.



# СОДЕРЖАНИЕ

|                 |   |
|-----------------|---|
| От автора ..... | 3 |
|-----------------|---|

## ЗАДАНИЯ БАЗОВОГО И ПОВЫШЕННОГО УРОВНЕЙ СЛОЖНОСТИ

|  |    |
|--|----|
| Вычисление массы растворенного вещества,<br>содержащегося в определенной массе раствора<br>с известной массовой долей; вычисление массовой доли<br>вещества в растворе ..... | 4  |
| Расчеты массы вещества или объема газов по известному<br>количеству вещества, массе или объему одного<br>из участвующих в реакции веществ .....                              | 14 |
| Расчеты объемных отношений газов при химических<br>реакциях .....  | 20 |
| Расчеты массовой или объемной доли выхода продукта<br>реакции от теоретически возможного .....   | 24 |
| Расчеты массовой доли (массы) химического соединения<br>в смеси .....  | 29 |
| Тепловой эффект химической реакции. Термохимические<br>уравнения. Расчеты теплового эффекта реакции .....  | 31 |

## ЗАДАНИЯ ВЫСОКОГО УРОВНЯ СЛОЖНОСТИ С РАЗВЕРНУТЫМ ОТВЕТОМ

|  |     |
|--|-----|
| Реакции окислительно-восстановительные .....   | 35  |
| Основные элементы ответа задания 30 .....  | 36  |
| Реакции, подтверждающие взаимосвязь различных<br>классов неорганических веществ .....  | 70  |
| Реакции, подтверждающие взаимосвязь органических<br>соединений .....   | 101 |
| Расчеты: массы (объема, количества вещества) продуктов<br>реакции, если одно из веществ дано в избытке<br>(имеет примеси), если одно из веществ дано в виде<br>раствора с определенной массовой долей растворенного<br>вещества. Задачи на смеси ..... | 120 |
| Нахождение молекулярной формулы вещества .....   | 143 |
| Список дополнительной литературы .....   | 175 |

**С ПОМОЩЬЮ ЭТОЙ КНИГИ ВЫ:**

- **НАУЧИТЕСЬ РЕШАТЬ ЗАДАЧИ РАЗНЫХ ТИПОВ;**
- **СИСТЕМАТИЗИРУЕТЕ ЗНАНИЯ  
ПО ВСЕМУ ШКОЛЬНОМУ КУРСУ;**
- **СОКРАТИТЕ ВРЕМЯ ПОДГОТОВКИ К ЕГЭ  
И ПОЛУЧИТЕ ОТЛИЧНЫЙ РЕЗУЛЬТАТ.**

# **ХИМИЯ**

## **РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ**



**В серии «ЕГЭ. Сдаём без проблем» выходят пособия  
по основным предметам: русскому языку, литературе,  
математике, физике, химии, биологии, географии,  
информатике, истории, обществознанию  
и иностранным языкам.**

**ГАРАНТИЯ  
УСПЕХА  
НА ЭКЗАМЕНЕ!**

ISBN 978-5-04-112812-8



9 785041 128128 >

