

**Г. П. ХОМЧЕНКО, И. Г. ХОМЧЕНКО**

---

**СБОРНИК  
ЗАДАЧ  
ПО ХИМИИ**

**ДЛЯ ПОСТУПАЮЩИХ  
В ВУЗЫ**

4-е издание, исправленное и дополненное

*Рекомендовано Министерством образования РФ в качестве  
учебного пособия для поступающих в вузы*

Москва  
«Новая Волна»  
2002

УДК 54  
ББК 24  
Х76

Рецензенты: кандидат химических наук, доцент кафедры физической и коллоидной химии РУДН Е.Н. Колосов, учитель химии средней школы № 1748 г. Москвы О.Ю. Гончарук, директор общеобразовательной школы № 1303 Химический лицей г. Москвы С.Е. Семенов.

**Хомченко Г.П., Хомченко И.Г.**

**Х76** Сборник задач по химии для поступающих в вузы. — 4-е изд., испр. и доп. — М.: «Издательство Новая Волна»: Издатель Умеренков, 2002. — 278 с.

ISBN 5-7864-0143-X (Изд. Новая Волна)

ISBN 5-94368-004-7 (Изд. Умеренков)

Сборник включает задачи по общей, неорганической и органической химии. Последний раздел пособия содержит задачи повышенной трудности. В каждом разделе приводятся задачи с решениями.

Книга предназначена поступающим в вузы. Она также может быть рекомендована преподавателям химии при подготовке учащихся к сдаче выпускных экзаменов за курс средней школы.

УДК 54  
ББК 24

**Хомченко Гавриил Платонович, Хомченко Иван Гаврилович**  
**СБОРНИК ЗАДАЧ ПО ХИМИИ ДЛЯ ПОСТУПАЮЩИХ В ВУЗЫ**

Компьютерная верстка *В.В. Костохина*

Корректоры *Е.А. Кулакова, Л.П. Сидорова*

ИД № 03434 от 15.12.00, ИД № 03433 от 15.12.00. Подписано в печать 20.06.02.  
Формат 84×108<sup>1</sup>/<sub>32</sub>. Бумага типографская. Гарнитура Таймс. Печать высокая  
Усл. печ. л. 15,12. Уч.-изд. л. 12,55. Тираж 10000 экз. Изд. № 4. Заказ № 1174

ООО «Издательство Новая Волна», Издатель Умеренков.

107078, Москва, Садовая-Спасская, д. 3. Тел. (095) 208-38-92,

факс (095) 207-04-11. Интернет/Home page — [www.newwave.msk.ru](http://www.newwave.msk.ru),

электронная почта/E-mail — [sales@newwave.msk.ru](mailto:sales@newwave.msk.ru).

ФГУП Владимирская книжная типография.

600000, г. Владимир, Октябрьский проспект, д. 7.

ISBN 5-7864-0143-X (Изд. Новая Волна)

ISBN 5-94368-004-7 (Изд. Умеренков)

© Хомченко Г.П., Хомченко И.Г., 2001

© ООО «Издательство Новая Волна», 2001

## ПРЕДИСЛОВИЕ

В сборнике рассмотрены задачи и упражнения по химии, предназначенные для подготовки абитуриентов к вступительному экзамену по химии в высшие учебные заведения. Теоретический материал в книге не рассматривается, лишь в некоторых главах приведены основные, наиболее важные понятия курса химии, которые необходимы для решения задач.

Расположение материала в сборнике задач соответствует книге Г.П. Хомченко «Пособие по химии для поступающих в вузы», М.: «НОВАЯ ВОЛНА», 2001, где изложены вопросы теоретического курса. Наиболее эффективна подготовка к экзамену с параллельным использованием обеих книг.

Задачи по химии обычно предлагаются на всех экзаменах по химии: устных и письменных. На последних, как правило, в экзаменационные билеты входят только задачи. Умение решать их является основным показателем творческого усвоения предмета. Кроме того, решение задач при изучении теории позволяет значительно лучше разобраться в ней и усвоить наиболее сложные вопросы.

В сборнике содержатся задачи различного уровня сложности. В некоторых разделах имеются достаточно простые примеры, которые предназначены для подготовки к экзаменам. Во всех разделах имеются задачи с решениями, как правило, — наиболее типовые. Для всех расчетных задач даны ответы.

Последний раздел книги — «Задачи повышенной трудности». Примеры приблизительно такого уровня сложности обычно предлагают на вступительных экзаменах в вузы с повышенными требованиями по химии — химические, биологические, медицинские и др.

В книге используются общепринятые в настоящее время обозначения физических величин и схема записи расчетов. Следует иметь в виду, что во многих школах величину «количество вещества» обозначают символом  $V$ , но в настоящем задачнике принято обозначение  $n$ , которое больше распространено в высшей школе. В пособии использованы единицы международной системы СИ,

некоторые допустимые внесистемные единицы (тонна, литр, миллилитр и др.), современная международная номенклатура неорганических и органических веществ.

Книга предназначена для поступающих в вузы. Она может быть рекомендована также учащимся подготовительных отделений вузов, школ, гимназий и лицеев, а также преподавателям химии.

*И.Г. Хомченко*

## УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ, НАЗВАНИЯ И ЕДИНИЦЫ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

$\tau$	Время	с
$\eta$	Выход продукта	—
$p$	Давление	Па
$\Delta H$	Изменение энтальпии	Дж
$n$	Количество вещества	моль
$m$	Масса	кг, г, т
$w$	Массовая доля	—
$\chi$	Молярная доля	—
$c$	Молярная концентрация	моль/л
$M$	Молярная масса	г/моль
$V_m$	Молярный объем	л/моль
$V$	Объем	л, м <sup>3</sup>
$\varphi$	Объемная доля	—
$A_r$	Относительная атомная масса	—
$M_r$	Относительная молекулярная масса	—
$D_{H_2}$	Относительная плотность по водороду	—
$D_B$	Относительная плотность по воздуху	—
$\rho$	Плотность	г/мл, г/см <sup>3</sup> , кг/л
$N_A$	Постоянная Авогадро	моль <sup>-1</sup>
$v$	Скорость реакции	моль/(л · с)
$T$	Температура	К
$t$	Температура по шкале Цельсия	°С
$\gamma$	Температурный коэффициент скорости реакции	—

# Часть I. ОБЩАЯ ХИМИЯ

## 1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ЗАКОНЫ ХИМИИ

### Моль. Молярная масса

Молярная масса — это отношение массы вещества к количеству вещества. т. е.

$$M(X) = \frac{m(X)}{n(X)}, \quad (1.1)$$

где  $M(X)$  — молярная масса вещества  $X$ ;  $m(X)$  — масса вещества  $X$ ,  $n(X)$  — количество вещества  $X$ . Единица СИ молярной массы — кг/моль, однако обычно используется единица г/моль. Единица массы — г, кг. Единица СИ количества вещества — моль.

1.1. Какое количество вещества алюминия содержится в образце этого металла массой 10,8 г?

*Решение.* Молярная масса алюминия составляет:

$$M(\text{Al}) = 27 \text{ г/моль.}$$

По уравнению (1.1) определяем количество вещества алюминия в образце:

$$n(\text{Al}) = \frac{m(\text{Al})}{n(\text{Al})}; n(\text{Al}) = \frac{10,8}{27} \text{ моль} = 0,4 \text{ моль}^*.$$

1.2. Какое количество вещества содержится в оксиде серы (VI) массой 12 г?

*Решение.* Молярная масса оксида серы (VI) составляет:

$$M(\text{SO}_3) = M(\text{S}) + 3M(\text{O}); M(\text{SO}_3) = (32 + 3 \cdot 16) \text{ г/моль} = 80 \text{ г/моль,}$$

---

\* В этом и последующих примерах обозначение единицы помещается после числового значения величины как в конце расчета, так и после результатов всех промежуточных вычислений (в соответствии с принятым стандартом). В учебной литературе по химии встречается и такая запись:

$$n(\text{Al}) = \frac{10,8 \text{ г}}{27 \text{ г/моль}} = 0,4 \text{ моль.}$$

где  $M(S)$  и  $M(O)$  — молярные массы атомных серы и кислорода.  
Определяем количество вещества оксида серы (VI):

$$n(\text{SO}_3) = \frac{m(\text{SO}_3)}{M(\text{SO}_3)}; n(\text{SO}_3) = \frac{12}{80} \text{ моль} = 0,15 \text{ моль.}$$

1.3. Определите массу карбоната натрия количеством вещества 0,25 моль.

*Решение.* Молярная масса карбоната натрия составляет:

$$M(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 2M(\text{Na}) + M(\text{C}) + 3M(\text{O});$$
$$M(\text{Na}_2\text{CO}_3) = (2 \cdot 23 + 12 + 3 \cdot 16) \text{ г/моль} = 106 \text{ г/моль.}$$

Определяем массу  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ :

$$m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = n(\text{Na}_2\text{CO}_3) \cdot M(\text{Na}_2\text{CO}_3);$$
$$m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0,25 \cdot 106 \text{ г} = 26,5 \text{ г.}$$

1.4. Определите количество вещества брома  $\text{Br}_2$ , содержащееся в молекулярном бrome массой 12,8 г. *Ответ:* 0,08 моль.

1.5. Определите массу иодида натрия  $\text{NaI}$  количеством вещества 0,6 моль. *Ответ:* 90 г.

1.6. Какое количество вещества атомной серы содержится в сульфиде железа (II) массой 22 г?

*Решение.* Молярная масса сульфида железа (II)  $\text{FeS}$  составляет 88 г/моль. Определяем количество вещества  $\text{FeS}$ :

$$n(\text{FeS}) = \frac{m(\text{FeS})}{M(\text{FeS})}; n(\text{FeS}) = \frac{22}{88} \text{ моль} = 0,25 \text{ моль.}$$

Из простейшей формулы сульфида железа (II) следует, что количество вещества атомной серы равно количеству вещества сульфида, т. е.

$$n(S) = n(\text{FeS}); n(S) = 0,25 \text{ моль.}$$

1.7. Определите количество вещества атомного бора, содержащегося в тетраборате натрия  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$  массой 40,4 г. *Ответ:* 0,8 моль.

1.8. Сколько структурных единиц содержится в молекулярном иоде массой 50,8 г?

*Решение.* Молярная масса  $\text{I}_2$  равна 254 г/моль. Определяем количество вещества молекулярного иода:

$$n(I_2) = \frac{m(I_2)}{M(I_2)}; n(I_2) = \frac{50,8}{254} \text{ моль} = 0,2 \text{ моль.}$$

Определить число структурных единиц (в данном примере — молекул) иода можно, используя постоянную Авогадро  $N_A$ :

$$N(I_2) = n(I_2)N_A,$$

где  $N(I_2)$  — число структурных единиц (молекул) иода;  $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$  1/моль.

$$N(I_2) = 0,2 \cdot 6 \cdot 10^{23} = 1,2 \cdot 10^{23}.$$

**1.9.** Сколько атомов фосфора содержится в тетрафосфоре  $P_4$  массой 155 г? *Ответ:*  $3 \cdot 10^{24}$ .

**1.10.** В каком количестве вещества оксида серы (IV) содержится такое же число атомов серы, что и в пирите  $FeS_2$  массой 24 г? *Ответ:* 0,4 моль.

### Расчеты по химическим формулам. Массовая доля

Массовая доля вещества — отношение массы данного вещества в системе к массе всей системы, т. е.

$$w(X) = \frac{m(X)}{m}, \quad (1.2)$$

где  $w(X)$  — массовая доля вещества  $X$ ;  $m(X)$  — масса вещества  $X$ ;  $m$  — масса всей системы. Массовая доля — безразмерная величина. Ее выражают в долях от единицы или в процентах. Например, массовая доля атомного кислорода составляет 0,42, или 42%, т. е.  $w(O) = 0,42^*$ . Массовая доля атомного хлора в хлориде натрия составляет 0,607, или 60,7%, т. е.  $w(Cl) = 0,607$ .

**1.11.** Вычислите массовую долю углерода в карбиде кальция  $CaC_2$ .

*Решение.* Молярные массы веществ равны:  $M(C) = 12$  г/моль,  $M(CaC_2) = 64$  г/моль. Выбираем для расчетов образец карбида кальция количеством вещества 1 моль, т. е.  $n(CaC_2) = 1$  моль. Тогда масса карбида равна

$$m(CaC_2) = n(CaC_2) \cdot M(CaC_2); m(CaC_2) = 1 \cdot 64 \text{ г} = 64 \text{ г.}$$

---

\* Здесь и далее при вычислениях используются значения  $w(X)$  только в долях. В условиях задач массовая доля приводится как в долях, так и в процентах

Из формулы карбида кальция  $\text{CaC}_2$  следует, что количество вещества атомного углерода в два раза больше количества вещества  $\text{CaC}_2$ , т. е.

$$n(\text{C}) = 2n(\text{CaC}_2); n(\text{C}) = 2 \text{ моль.}$$

Определяем массу углерода:

$$m(\text{C}) = n(\text{C}) \cdot M(\text{C}); m(\text{C}) = 2 \cdot 12 \text{ г} = 24 \text{ г.}$$

Находим массовую долю углерода в карбиде:

$$w(\text{C}) = \frac{m(\text{C})}{m(\text{CaC}_2)}; w(\text{C}) = \frac{24}{64} = 0,375, \text{ или } 37,5\%.$$

**1.12.** Рассчитайте массовую долю марганца в оксиде марганца (IV) и оксиде марганца (VII). *Ответ:* 63,2% в  $\text{MnO}_2$  и 49,5% в  $\text{Mn}_2\text{O}_7$ .

**1.13.** Определите массовую долю кристаллизационной воды в дигидрате хлорида бария  $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . *Ответ:* 14,75%.

**1.14.** В состав минерального удобрения аммофоса входят дигидрофосфат аммония  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  (массовая доля 85%), гидрофосфат аммония  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$  (8%) и примеси, которые не содержат азот. Определите массовую долю азота в аммофосе и количество вещества атомного азота в удобрении массой 200 кг.

*Решение.* Определяем массы и количества веществ дигидрофосфата аммония и гидрофосфата аммония в аммофосе:

$$w(\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4) = m(\text{аммофос}) \cdot w(\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4);$$

$$m(\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4) = 200 \cdot 0,85 \text{ кг} = 170 \text{ кг};$$

$$m((\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4) = m(\text{аммофос}) \cdot w((\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4);$$

$$m((\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4) = 200 \cdot 0,08 \text{ кг} = 16 \text{ кг};$$

$$n(\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4) = \frac{m(\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4)}{M(\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4)};$$

$$n(\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4) = \frac{170}{115} \text{ кмоль} = 1,48 \text{ кмоль};$$

$$n((\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4) = \frac{m((\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4)}{M((\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4)};$$

$$n((\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4) = \frac{16}{132} \text{ кмоль} = 0,12 \text{ кмоль.}$$

Из формулы дигидрофосфата аммония следует:

$$n_1(\text{N}) = n(\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4); n_1(\text{N}) = 1,48 \text{ кмоль.}$$

Из формулы гидрофосфата аммония следует:

$$n_2(\text{N}) = 2n((\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4); n_2(\text{N}) = 2 \cdot 0,12 \text{ кмоль} = 0,24 \text{ кмоль.}$$

Общее количество вещества атомного азота в аммофосе массой 200 кг составляет:

$$n(\text{N}) = n_1(\text{N}) + n_2(\text{N}); n(\text{N}) = (1,48 + 0,24) \text{ кмоль} = 1,72 \text{ кмоль.}$$

Находим массу азота:

$$m(\text{N}) = n(\text{N}) \cdot M(\text{N}); m(\text{N}) = 1,72 \cdot 14 \text{ г} = 24,1 \text{ г.}$$

Определяем массовую долю азота в аммофосе:

$$w(\text{N}) = \frac{m(\text{N})}{m(\text{аммофос})}; w(\text{N}) = \frac{24,1}{200} = 0,12, \text{ или } 12\%.$$

**1.15.** Образец хромистого железняка содержит  $\text{Fe}(\text{CrO}_2)_2$  (массовая доля 94%) и  $\text{Mg}(\text{CrO}_2)_2$  (массовая доля 6%). Определите массу хрома, содержащегося в хромистом железняке массой 500 кг.  
*Ответ:* 234 кг.

**1.16.** Из образца горной породы массой 25 г, содержащего минерал аргентит  $\text{Ag}_2\text{S}$ , выделено серебро массой 5,4 г. Определите массовую долю аргентита в образце.  
*Ответ:* 24,8%.

**1.17.** Какая масса марганца может быть получена из смеси оксида марганца (III) и оксида марганца (IV) массой 500 г? Массовая доля  $\text{Mn}_2\text{O}_3$  в смеси составляет 80%,  $\text{MnO}_2$  — 20%.  
*Ответ:* 342 г.

**1.18.** Состав оксида некоторого металла может быть выражен простейшей формулой  $\text{Me}_2\text{O}_3$ . Известно, что оксид массой 76,5 г содержит металл массой 40,5 г. Какой металл образует оксид?

*Решение.* Определяем массу кислорода, содержащегося в оксиде массой 76,5 г:

$$m(\text{O}) = m(\text{Me}_2\text{O}_3) - m(\text{Me}); m(\text{O}) = (76,5 - 40,5) \text{ г} = 36,0 \text{ г.}$$

Находим количество вещества кислорода:

$$n(\text{O}) = \frac{m(\text{O})}{M(\text{O})}; n(\text{O}) = \frac{36,0}{16} = 2,25 \text{ моль.}$$

Из формулы оксида следует, что 1 моль оксида содержит атомный кислород количеством вещества 3 моль, следовательно,

$$n(\text{Me}_2\text{O}_3) = \frac{n(\text{O})}{3}; n(\text{Me}_2\text{O}_3) = \frac{2,25}{3} \text{ моль} = 0,75 \text{ моль.}$$

0,75 моль — количество вещества оксида, содержащегося в его образце массой 76,5 г.

Рассчитываем молярную массу оксида.

$$M(\text{Me}_2\text{O}_3) = \frac{m(\text{Me}_2\text{O}_3)}{n(\text{Me}_2\text{O}_3)};$$

$$M(\text{Me}_2\text{O}_3) = \frac{76,5}{0,75} \text{ г/моль} = 102 \text{ г/моль.}$$

Теперь определяем молярную массу металла:

$$M(\text{Me}) = \frac{M(\text{Me}_2\text{O}_3) - 3M(\text{O})}{2};$$

$$M(\text{Me}) = \frac{102 - 3 \cdot 16}{2} \text{ г/моль} = 27 \text{ г/моль.}$$

Таким образом, неизвестный металл — алюминий.

**1.19.** Некоторый элемент проявляет в оксиде степень окисления +4. Массовая доля этого элемента в оксиде составляет 71,17%. Какой это элемент? *Ответ:* селен.

**1.20.** Оксид элемента имеет состав  $\text{ЭO}_3$ . Массовая доля кислорода в этом оксиде составляет 60%. Какой элемент образует оксид? *Ответ:* сера.

**1.21.** Элемент массой 16 г, взаимодействуя с молекулярным кислородом массой 6,4 г, образует оксид состава ЭО. Определите, что это за элемент. *Ответ:* кальций.

### Вывод формул соединений

**1.22.** Массовые доли серы и кислорода в оксиде серы равны соответственно 40 и 60%. Определите простейшую формулу этого оксида.

*Решение.* Для расчетов выбираем массу оксида, равную 100 г, т. е.  $m(\text{оксида}) = 100 \text{ г}$ . Тогда массы серы и кислорода будут равны:

$$m(\text{S}) = m(\text{оксида}) \cdot w(\text{S}); m(\text{S}) = 100 \cdot 0,4 \text{ г} = 40 \text{ г};$$

$$m(\text{O}) = m(\text{оксида}) \cdot w(\text{O}); m(\text{O}) = 100 \cdot 0,6 \text{ г} = 60 \text{ г}.$$

Количества веществ атомных серы и кислорода составят:

$$n(\text{S}) = \frac{m(\text{S})}{M(\text{S})}; n(\text{S}) = \frac{40}{32} \text{ моль} = 1,25 \text{ моль};$$

$$n(\text{O}) = \frac{m(\text{O})}{M(\text{O})}; n(\text{O}) = \frac{60}{16} \text{ моль} = 3,75 \text{ моль}.$$

Находим отношение количеств веществ серы и кислорода:

$$n(\text{S}) : n(\text{O}) = 1,25 : 3,75.$$

Разделив правую часть равенства на меньшее число (1,25), получаем

$$n(\text{S}) : n(\text{O}) = 1 : 3,$$

т. е. простейшая формула соединения  $\text{SO}_3$ .

**1.23.** Массовая доля хлора в хлориде фосфора составляет 77,5%. Определите простейшую формулу хлорида. *Ответ:*  $\text{PCl}_3$ .

**1.24.** В состав химического соединения входят натрий, фосфор и кислород. Массовые доли элементов составляют (%): натрия — 34,6, фосфора — 23,3, кислорода 42,1. Определите простейшую формулу соединения.

*Решение.* Для расчетов выбираем массу соединения, равную 100 г, т. е.  $m = 100$  г. Массы натрия, фосфора и кислорода составят:

$$m(\text{Na}) = mw(\text{Na}); m(\text{Na}) = 100 \cdot 0,346 \text{ г} = 34,6 \text{ г};$$

$$m(\text{P}) = mw(\text{P}); m(\text{P}) = 100 \cdot 0,233 \text{ г} = 23,3 \text{ г};$$

$$m(\text{O}) = mw(\text{O}); m(\text{O}) = 100 \cdot 0,421 \text{ г} = 42,1 \text{ г}.$$

Определяем количества веществ атомных натрия, фосфора и кислорода:

$$n(\text{Na}) = \frac{m(\text{Na})}{M(\text{Na})}; n(\text{Na}) = \frac{34,6}{23} \text{ моль} = 1,50 \text{ моль};$$

$$n(\text{P}) = \frac{m(\text{P})}{M(\text{P})}; n(\text{P}) = \frac{23,3}{31} \text{ моль} = 0,75 \text{ моль};$$

$$n(\text{O}) = \frac{m(\text{O})}{M(\text{O})}; n(\text{O}) = \frac{42,1}{16} \text{ моль} = 2,63 \text{ моль.}$$

Находим отношение количеств веществ:

$$n(\text{Na}) : n(\text{P}) : n(\text{O}) = 1,50 : 0,75 : 2,63.$$

Разделив правую часть равенства на меньшее число (0,75), получим:

$$n(\text{Na}) : n(\text{P}) : n(\text{O}) = 2 : 1 : 3,5.$$

Так как в формулах соединений обычно используют целочисленные коэффициенты, то теперь правую часть равенства необходимо умножить на два:

$$n(\text{Na}) : n(\text{P}) : n(\text{O}) = 4 : 2 : 7$$

Следовательно, простейшая формула соединения  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ .

**1.25.** Некоторая кислота содержит водород (массовая доля 2,2%), вод (55,7%) и кислород (42,1%). Определите простейшую формулу этой кислоты. *Ответ:*  $\text{H}_5\text{IO}_6$ .

**1.26.** В оксиде молибдена отношение массы молибдена к массе атомного кислорода равно 2. Определите простейшую формулу оксида. *Ответ:*  $\text{MoO}_3$ .

**1.27.** Образец соединения фосфора и брома массой 81,3 г содержит фосфор массой 9,3 г. Определите простейшую формулу этого соединения. *Ответ:*  $\text{PBr}_3$ .

**1.28.** Молярная масса соединения азота с водородом равна 32 г/моль. Определите формулу этого соединения, если массовая доля азота в нем составляет 87,5%. *Ответ:*  $\text{N}_2\text{H}_4$ .

**1.29.** Определите простейшую формулу соединения алюминия с углеродом, если известно, что массовая доля алюминия в нем составляет 75%. *Ответ:*  $\text{Al}_4\text{C}_3$ .

**1.30.** Определите простейшую формулу соединения калия с марганцем и кислородом, если массовые доли элементов в этом веществе составляют соответственно 24,7, 34,8 и 40,5%. *Ответ:*  $\text{KMnO}_4$ .

## Молярный объем газов. Законы идеальных газов.

### Объемная доля

Молярный объем газа равен отношению объема газа к количеству вещества этого газа, т. е.

$$V_m = \frac{V(X)}{n(X)}, \quad (1.3)$$

где  $V_m$  — молярный объем газа — постоянная величина для любого газа при данных условиях;  $V(X)$  — объем газа X;  $n(X)$  — количество вещества газа X. Молярный объем газов при нормальных условиях (нормальном давлении  $p_H = 101\,325 \text{ Па} \approx 101,3 \text{ кПа}$  и температуре  $T_H = 273,15 \text{ К} \approx 273 \text{ К}$ ) составляет  $V_m = 22,4 \text{ л/моль}^*$ .

В расчетах, связанных с газами, часто приходится переходить от данных условий к нормальным или наоборот. При этом удобно пользоваться формулой, следующей из объединенного газового закона Бойля—Мариотта и Гей-Люссака:

$$\frac{pV}{T} = \frac{p_H V_H}{T_H} \quad (1.4)$$

где  $p$  — давление;  $V$  — объем;  $T$  — температура; индекс «н» указывает на нормальные условия.

Состав газовых смесей часто выражают при помощи объемной доли — отношения объема данного компонента к общему объему системы, т. е.

$$\varphi(X) = \frac{V(X)}{V} \quad (1.5)$$

где  $\varphi(X)$  — объемная доля компонента X;  $V(X)$  — объем компонента X;  $V$  — объем системы. Объемная доля — безразмерная величина, ее выражают в долях от единицы или в процентах.

**1.31.** Какую массу будет иметь азот объемом 30 л при нормальных условиях?

*Решение.* Молярный объем газа при нормальных условиях  $V_m = 22,4 \text{ л/моль}$ . В соответствии с формулой (1.3) рассчитываем количество вещества молекулярного азота:

$$n(\text{N}_2) = \frac{V_H(\text{N}_2)}{V_m}; n(\text{N}_2) = \frac{30}{22,4} \text{ моль} = 1,34 \text{ моль}.$$

Определяем массу азота:

$$m(\text{N}_2) = M(\text{N}_2) \cdot n(\text{N}_2); m(\text{N}_2) = 28 \cdot 1,34 \text{ г} = 37,52 \text{ г}.$$

---

\* Возможные отклонения от значения  $V_m$  в настоящем издании не учитываются.

**1.32.** Какой объем займет при нормальных условиях хлороводород массой 14,6 г?

*Решение.* Определяем количество вещества хлороводорода:

$$n(\text{HCl}) = \frac{m(\text{HCl})}{M(\text{HCl})}; n(\text{HCl}) = \frac{14,6}{36,5} \text{ моль} = 0,4 \text{ моль.}$$

В соответствии с формулой (1.3) объем хлороводорода при нормальных условиях составляет:

$$V_{\text{H}}(\text{HCl}) = V_m n(\text{HCl}); V_{\text{H}}(\text{HCl}) = 22,4 \cdot 0,4 \text{ л} = 8,96 \text{ л.}$$

**1.33.** Какой объем займет при температуре 20 °С и давлении 250 кПа аммиак массой 51 г?

*Решение.* Определяем количество вещества аммиака:

$$n(\text{NH}_3) = \frac{m(\text{NH}_3)}{M(\text{NH}_3)}; n(\text{NH}_3) = \frac{51}{17} \text{ моль} = 3 \text{ моль.}$$

Объем аммиака при нормальных условиях составляет:

$$V_{\text{H}}(\text{NH}_3) = V_m n(\text{NH}_3); V_{\text{H}}(\text{NH}_3) = 22,4 \cdot 3 \text{ л} = 67,2 \text{ л.}$$

Используя формулу (1.4), приводим объем аммиака к данным условиям [температура  $T = (273 + 20) \text{ К} = 293 \text{ К}$ ]:

$$V(\text{NH}_3) = \frac{p_{\text{H}} T V_{\text{H}}(\text{NH}_3)}{p T_{\text{H}}}; V(\text{NH}_3) = \frac{101,3 \cdot 293 \cdot 67,2}{250 \cdot 273} \text{ л} = 29,2 \text{ л.}$$

**1.34.** Оксид углерода (IV) находится в сосуде, объем которого равен 20 л, при температуре 22 °С и давлении 500 кПа. Определите массу оксида углерода (IV). *Ответ:* 179,4 г.

**1.35.** Газ массой 30,3 г заполнил сосуд объемом 15 л при температуре 18 °С. Давление газа внутри сосуда составляет 122 кПа. Определите молярную массу газа. *Ответ:* 40 г/моль.

**1.36.** Определите плотности бромоводорода по водороду и по воздуху.

*Решение.* Для нахождения относительной плотности газа надо знать молярные массы газов:  $M(\text{HBr}) = 81 \text{ г/моль}$ ,  $M(\text{H}_2) = 2 \text{ г/моль}$ . Воздух — это смесь газов (главным образом кислорода и азота). Зная объемные доли газов в воздухе, можно рассчитать его среднюю молярную массу. Она обычно принимается равной 29 г/моль.

Определяем относительную плотность бромоводорода по водороду:

$$D_{\text{H}_2}(\text{HBr}) = \frac{M(\text{HBr})}{M(\text{H}_2)}; D_{\text{H}_2}(\text{HBr}) = \frac{81}{2} = 40,5.$$

Находим плотность бромоводорода по воздуху:

$$D_{\text{В}}(\text{HBr}) = \frac{M(\text{HBr})}{M(\text{возд})}; D_{\text{В}}(\text{HBr}) = \frac{81}{29} = 2,8.$$

1.37. Определите плотность селеноводорода по водороду и по воздуху. *Ответ:* 40,5 — по водороду; 2,8 — по воздуху.

1.38. Плотность галогеноводорода по воздуху равна 4,41. Определите плотность этого газа по водороду и назовите его. *Ответ:* 64, иодоводород.

1.39. Какие из перечисленных ниже газов легче воздуха: оксид углерода (II), оксид углерода (IV), фтор, неон, ацетилен  $\text{C}_2\text{H}_2$ , фосфин  $\text{PH}_3$ ? *Ответ:* оксид углерода (II), неон, ацетилен.

1.40. Определите плотность по водороду газовой смеси, состоящей из аргона объемом 56 л и азота объемом 28 л. Объемы газов приведены к нормальным условиям. *Ответ:* 18.

1.41. Имеется газовая смесь, массовые доли газов в которой равны (%): водорода — 35, азота — 65. Определите объемные доли газов в смеси.

*Решение.* Для расчетов выбираем массу газовой смеси, равную 100 г, т. е.  $m = 100$  г. Тогда массы и количества веществ молекулярных водорода и азота будут равны:

$$m(\text{H}_2) = mw(\text{H}_2); m(\text{H}_2) = 100 \cdot 0,35 \text{ г} = 35 \text{ г};$$

$$m(\text{N}_2) = mw(\text{N}_2); m(\text{N}_2) = 100 \cdot 0,65 \text{ г} = 65 \text{ г};$$

$$n(\text{H}_2) = \frac{m(\text{H}_2)}{M(\text{H}_2)}; n(\text{H}_2) = \frac{35}{2} \text{ моль} = 17,5 \text{ моль};$$

$$n(\text{N}_2) = \frac{m(\text{N}_2)}{M(\text{N}_2)}; n(\text{N}_2) = \frac{65}{28} \text{ моль} = 2,32 \text{ моль}.$$

Пусть молярный объем газов при тех условиях, в которых находится смесь, равен  $V_m$ . Тогда объемы газов составят:

$$V(\text{H}_2) = V_m n(\text{H}_2); V(\text{H}_2) = V_m \cdot 17,5;$$

$$V(\text{N}_2) = V_m n(\text{N}_2); V(\text{N}_2) = V_m \cdot 2,32.$$

Если газы не вступали в химическое взаимодействие, то объем газовой смеси будет равен сумме объемов газов, т. е.

$$V = V(\text{H}_2) + V(\text{N}_2); V = (V_m \cdot 17,5 + V_m \cdot 2,32) \text{ л} = V_m \cdot 19,82 \text{ л}.$$

Определяем объемные доли газов:

$$\varphi(\text{H}_2) = \frac{V(\text{H}_2)}{V}; \varphi(\text{H}_2) = \frac{V_m \cdot 17,5}{V_m \cdot 19,82} = 0,883, \text{ или } 88,3\%;$$

$$\varphi(\text{N}_2) = \frac{V(\text{N}_2)}{V}; \varphi(\text{N}_2) = \frac{V_m \cdot 2,32}{V_m \cdot 19,82} = 0,117, \text{ или } 11,7\%.$$

**1.42.** Имеется смесь благородных газов, которая состоит из равных долей гелия и аргона. Определите массовую долю каждого из газов в смеси. *Ответ:* 9,1% He и 90,9% Ar.

**1.43.** Смесь состоит из трех газов: оксида углерода (IV), азота и аргона. Объемные доли газов равны соответственно 20, 50 и 30%. Определите массовые доли газов в смеси. *Ответ:* 25,3% CO<sub>2</sub>; 40,2% N<sub>2</sub>; 34,5% Ar.

**1.44.** Газовая смесь содержит кислород объемом 2,24 л и оксид серы (IV) объемом 3,36 л. Объемы газов приведены к нормальным условиям. Определите массу смеси. *Ответ:* 12,8 г.

**1.45.** Определите объем, который займет при нормальных условиях газовая смесь, содержащая водород массой 1,4 г и азот массой 5,6 г. *Ответ:* 20,16 л.

### Расчеты по химическим уравнениям

Расчеты по химическим уравнениям (стехиометрические расчеты) основаны на законе сохранения массы веществ. Однако в реальных химических процессах из-за неполного протекания реакции и различных потерь веществ масса образующихся продуктов часто бывает меньше той, которая должна образоваться в соответствии с законом сохранения массы веществ. Выход продукта реакции  $\eta$  (или массовая доля выхода) — это выраженное в процентах отношение массы реально полученного продукта к его массе, которая должна образоваться в соответствии с теоретическим расчетом, т. е.

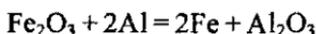
$$\eta = \frac{m_p(X) \cdot 100}{m(X)}, \quad (1.6)$$

где  $\eta$  — выход продукта, %;  $m_p(X)$  — масса продукта X, полученного в реальном процессе;  $m(X)$  — рассчитанная масса вещества X.

В тех задачах, где выход продуктов не указан, предполагается, что он количественный (теоретический), т. е.  $\eta = 100\%$ .

1.46. Железо может быть получено восстановлением оксида железа (III) алюминием. Какую массу алюминия и оксида железа (III) надо взять для получения железа массой 140 г?

*Решение 1.* Записываем уравнение реакции:



Определяем количество вещества железа, которое надо получить:

$$n(\text{Fe}) = \frac{m(\text{Fe})}{M(\text{Fe})}; n(\text{Fe}) = \frac{140}{56} \text{ моль} = 2,5 \text{ моль.}$$

Из уравнения реакции следует, что для получения железа количеством вещества 2 моль требуется 1 моль  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и 2 моль алюминия, т. е.

$$\frac{n(\text{Al})}{n(\text{Fe})} = \frac{2}{2} = 1; \frac{n(\text{Fe}_2\text{O}_3)}{n(\text{Fe})} = \frac{1}{2}.$$

Отсюда получаем:

$$n(\text{Al}) = n(\text{Fe}); n(\text{Al}) = 2,5 \text{ моль};$$

$$n(\text{Fe}_2\text{O}_3) = \frac{n(\text{Fe})}{2}; n(\text{Fe}_2\text{O}_3) = \frac{2,5}{2} \text{ моль} = 1,25 \text{ моль.}$$

Определяем необходимые массы алюминия и оксида железа (III):

$$m(\text{Al}) = n(\text{Al}) \cdot M(\text{Al}); m(\text{Al}) = 2,5 \cdot 27 \text{ г} = 67,5 \text{ г};$$

$$m(\text{Fe}_2\text{O}_3) = n(\text{Fe}_2\text{O}_3) \cdot M(\text{Fe}_2\text{O}_3); m(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 1,25 \cdot 160 \text{ г} = 200 \text{ г.}$$

*Решение 2.* Задачу можно решить также методом составления пропорций.

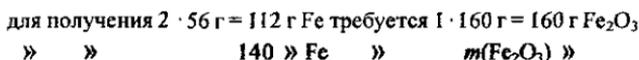
Из уравнения реакции следует: для получения железа количеством вещества 2 моль требуется 2 моль алюминия. Записываем:

$$\begin{array}{ccccccc} \text{для получения } 2 \cdot 56 \text{ г} = 112 \text{ г Fe} & \text{требуется} & 2 \cdot 27 \text{ г} = 54 \text{ г Al} & & & & \\ \gg & \gg & 140 \gg \text{Fe} & \gg & m(\text{Al}) & \gg & \end{array}$$

Составляем пропорцию:  $112 : 54 = 140 : m(\text{Al})$ , отсюда находим

$$m(\text{Al}) = \frac{140 \cdot 54}{112} \text{ г} = 67,5 \text{ г}.$$

Из уравнения реакции следует: для получения железа количеством вещества 2 моль требуется 1 моль оксида железа (III). Записываем:



Составляем пропорцию:  $112 : 160 = 140 : m(\text{Fe}_2\text{O}_3)$ , откуда находим

$$m(\text{Fe}_2\text{O}_3) = \frac{140 \cdot 160}{112} \text{ г} = 200 \text{ г}.$$

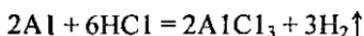
1.47. Какую массу фосфора надо сжечь для получения оксида фосфора (V) массой 7,1 г? *Ответ:* 3,1 г.

1.48. Какие массы металлического натрия и брома потребуются для получения бромида натрия  $\text{NaBr}$  массой 5,15 г? *Ответ:* 1,15 г натрия и 4 г брома.

1.49. Какая масса сульфата бария образуется при взаимодействии раствора, содержащего хлорид бария массой 62,4 г, с избытком серной кислоты? *Ответ:* 69,9 г.

1.50. Какой объем водорода выделится при нормальных условиях, если растворить алюминий массой 10,8 г в избытке соляной кислоты?

*Решение.* Записываем уравнение реакции взаимодействия алюминия с соляной кислотой:



Определяем количество вещества алюминия, вступившего в реакцию:

$$n(\text{Al}) = \frac{m(\text{Al})}{M(\text{Al})}; n(\text{Al}) = \frac{10,8}{27} \text{ моль} = 0,4 \text{ моль}.$$

Из уравнения реакции следует, что при растворении 2 моль алюминия образуется 3 моль водорода  $\text{H}_2$ . Следовательно,

$$\frac{n(\text{H}_2)}{n(\text{Al})} = \frac{3}{2}.$$

Отсюда следует:

$$n(\text{H}_2) = \frac{3n(\text{Al})}{2}; n(\text{H}_2) = \frac{3 \cdot 0,4}{2} \text{ моль} = 0,6 \text{ моль.}$$

Рассчитываем объем водорода при нормальных условиях:

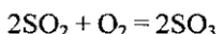
$$V_{\text{H}}(\text{H}_2) = V_{\text{мн}}(\text{H}_2); V_{\text{H}}(\text{H}_2) = 22,4 \cdot 0,6 \text{ л} = 13,44 \text{ л.}$$

**1.51.** Какой объем аммиака, измеренный при нормальных условиях, должен прореагировать с избытком хлороводорода для получения хлорида аммония массой 10,7 г? *Ответ:* 4,48 л.

**1.52.** В избытке соляной кислоты растворили магний массой 6 г и цинк массой 6,5 г. Какой объем водорода, измеренный при нормальных условиях, выделится при этом? *Ответ:* 7,84 л.

**1.53.** Какой объем оксида серы (IV) надо взять для реакции окисления кислородом, чтобы получить оксид серы (VI) массой 20 г, если выход продукта равен 80%? Объем рассчитайте при нормальных условиях.

*Решение.* Записываем уравнение реакции:



Определяем массу оксида серы (VI), который мог бы образоваться при количественном выходе продукта, используя формулу (1.6):

$$m(\text{SO}_3) = \frac{m_{\text{п}}(\text{SO}_3) \cdot 100}{\eta}; m(\text{SO}_3) = \frac{20 \cdot 100}{80} \text{ г} = 25 \text{ г.}$$

Определяем количество вещества оксида серы (VI):

$$n(\text{SO}_3) = \frac{m(\text{SO}_3)}{M(\text{SO}_3)}; n(\text{SO}_3) = \frac{25}{80} \text{ моль} = 0,3125 \text{ моль.}$$

Из уравнения реакции следует:

$$\frac{n(\text{SO}_2)}{n(\text{SO}_3)} = \frac{2}{2}.$$

Отсюда

$$n(\text{SO}_2) = n(\text{SO}_3); n(\text{SO}_2) = 0,3125 \text{ моль.}$$

Рассчитаем объем оксида серы (IV) при нормальных условиях:

$$V_{\text{H}}(\text{SO}_2) = V_{\text{мн}}(\text{SO}_2); V_{\text{H}}(\text{SO}_2) = 22,4 \cdot 0,3125 \text{ л} = 7 \text{ л}.$$

**1.54.** Какая масса вольфрама может быть получена при восстановлении водородом концентрата руды массой 145 г, содержащего оксид вольфрама (VI) и невосстанавливающиеся примеси, массовая доля которых равна 20%? Какой минимальный объем водорода потребуется для осуществления процесса? (Объем рассчитайте при нормальных условиях.) *Ответ:* 92 г вольфрама, 33,6  $\text{H}_2$ .

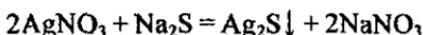
**1.55.** При пропускании сероводорода объемом 2,8 л (нормальные условия) через избыток раствора сульфата меди (II) образовался осадок массой 11,4 г. Определите выход продукта реакции. *Ответ:* 95%.

**1.56.** Оксид углерода (IV), полученный при сжигании угля массой 50 г, пропустили через раствор гидроксида бария. Какая масса осадка образовалась, если массовая доля углерода в угле составляет 96%? *Ответ:* 788 г.

**1.57.** Песок массой 2 кг сплавляли с избытком гидроксида калия, получив в результате реакции силикат калия массой 3,82 кг. Определите выход продукта реакции, если массовая доля оксида кремния (IV) в песке равна 90%. *Ответ:* 82,7%.

**1.58.** К раствору, содержащему нитрат серебра массой 25,5 г, прилили раствор, содержащий сульфид натрия массой 7,8 г. Какая масса осадка образуется при этом?

*Решение.* Записываем уравнение реакции:



Определяем количества веществ нитрата серебра и сульфида натрия:

$$n(\text{AgNO}_3) = \frac{m(\text{AgNO}_3)}{M(\text{AgNO}_3)}; n(\text{AgNO}_3) = \frac{25,5}{170} \text{ моль} = 0,15 \text{ моль};$$

$$n(\text{Na}_2\text{S}) = \frac{m(\text{Na}_2\text{S})}{M(\text{Na}_2\text{S})}; n(\text{Na}_2\text{S}) = \frac{7,8}{78} \text{ моль} = 0,1 \text{ моль}.$$

Из уравнения реакции следует: для реакции с нитратом серебра количеством вещества 2 моль требуется 1 моль сульфида натрия. Следовательно,

$$\frac{n'(\text{AgNO}_3)}{n'(\text{Na}_2\text{S})} = 2.$$

Если  $n'(\text{AgNO}_3) = n(\text{AgNO}_3)$ ;  $n'(\text{AgNO}_3) = 0,15$  моль, то

$$n'(\text{Na}_2\text{S}) = \frac{1}{2}n'(\text{AgNO}_3); n'(\text{Na}_2\text{S}) = \frac{0,15}{2} \text{ моль} = 0,075 \text{ моль};$$

0,075 моль — количество вещества сульфида натрия, которое потребуется для реакции, следовательно, он взят в избытке. Расчет количества вещества и массы продукта необходимо проводить, используя массу и количество вещества, взятого в недостатке, т. е. нитрата серебра.

Из уравнения реакции следует:

$$\frac{n(\text{AgNO}_3)}{n(\text{Ag}_2\text{S})} = \frac{2}{1}.$$

Отсюда

$$n(\text{Ag}_2\text{S}) = \frac{n(\text{AgNO}_3)}{2}; n(\text{Ag}_2\text{S}) = \frac{0,15}{2} \text{ моль} = 0,075 \text{ моль}.$$

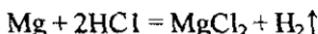
Определяем массу сульфида серебра:

$$m(\text{Ag}_2\text{S}) = n(\text{Ag}_2\text{S}) \cdot M(\text{Ag}_2\text{S}); m(\text{Ag}_2\text{S}) = 0,075 \cdot 248 \text{ г} = 18,6 \text{ г}.$$

**1.59.** К раствору, содержащему хлорид кальция массой 4,5 г, прилили раствор, содержащий фосфат натрия массой 4,1 г. Определите массу полученного осадка, если выход продукта составляет 88%. *Ответ:* 3,41 г.

**1.60.** Смесь медных и магниевых опилок массой 1,5 г обработали избытком соляной кислоты. В результате реакции выделился водород объемом 560 мл (нормальные условия). Определите массовую долю меди в смеси.

*Решение.* Из двух металлов с раствором соляной кислоты взаимодействует только магний:



Определяем количество вещества выделившегося водорода:

$$n(\text{H}_2) = \frac{V_{\text{H}}(\text{H}_2)}{V_m}; n(\text{H}_2) = \frac{0,56}{22,4} \text{ моль} = 0,025 \text{ моль.}$$

Из уравнения реакции следует:

$$n(\text{Mg}) = n(\text{H}_2); n(\text{Mg}) = 0,025 \text{ моль.}$$

Находим массу магния:

$$m(\text{Mg}) = n(\text{Mg}) \cdot M(\text{Mg}); m(\text{Mg}) = 0,025 \cdot 24 \text{ г} = 0,6 \text{ г.}$$

Масса меди в смеси будет равна:

$$m(\text{Cu}) = m(\text{смеси}) - m(\text{Mg}); m(\text{Cu}) = (1,5 - 0,6) \text{ г} = 0,9 \text{ г.}$$

Рассчитываем массовую долю меди в смеси:

$$w(\text{Cu}) = \frac{m(\text{Cu})}{m(\text{смеси})}; w(\text{Cu}) = \frac{0,9}{1,5} = 0,6, \text{ или } 60\%.$$

**1.61.** Для определения массовой доли оксида кальция в смеси его с карбонатом кальция образец смеси массой 0,8 г обработали избытком раствора соляной кислоты. В результате выделился газ объемом 112 мл (нормальные условия). Определите массовую долю оксида кальция в смеси. *Ответ:* 37,5%.

**1.62.** В сосуде находится смесь водорода и кислорода объемом 25 мл. В результате реакции между компонентами остался непрореагировавшим кислород объемом 7 мл. Определите объемную долю кислорода в исходной смеси, если все объемы приведены к одинаковым условиям. *Ответ:* 52%.

**1.63.** Какой объем хлора (измеренный при нормальных условиях) потребуется для хлорирования смеси меди и железа массой 60 г? Массовая доля меди в смеси составляет 53,3%. *Ответ:* 28 л.

**1.64.** При разложении галогенида аммония массой 4,9 г получили аммиак, объем которого при нормальных условиях равен 1,12 л. Какой галогенид был взят? *Ответ:* бромид аммония.

**1.65.** Какую массу цинка надо растворить в серной кислоте для получения водорода, которым можно восстановить оксид меди (II) массой 14,4 г? Учтите, что водород для восстановления нужен в двукратном избытке. *Ответ:* 23,4 г.

**1.66.** При сгорании технической серы массой 10 г выделился газ, который пропустили через избыток раствора гидроксида на-

трия. В реакцию вступил гидроксид массой 24 г. Определите массовую долю серы в техническом продукте. *Ответ:* 96%.

## 2. ПЕРИОДИЧЕСКИЙ ЗАКОН Д.И. МЕНДЕЛЕЕВА И СТРОЕНИЕ АТОМОВ. ХИМИЧЕСКАЯ СВЯЗЬ

### Периодический закон Д.И. Менделеева

**2.1.** В какой группе и в каком периоде периодической системы элементов Д.И. Менделеева находится элемент с порядковым номером 42?

*Решение.* Расположение элементов в периодической системе в соответствии со строением их атомов следующее: в первом периоде 2, во втором 8, в третьем 8. Третий период заканчивается элементом с порядковым номером 18 ( $2 + 8 + 8 = 18$ ). В четвертом периоде 18 элементов, т. е. он заканчивается элементом с порядковым номером 36. В пятом периоде также 18 элементов, поэтому элемент с порядковым номером 42 попадает в пятый период. Он занимает шестое место, следовательно, находится в шестой группе (побочной подгруппе). Этот элемент — молибден Mo.

**2.2.** В какой группе и в каком периоде периодической системы находится элемент с порядковым номером 51?

**2.3.** Какой из элементов — литий или калий — обладает более выраженными металлическими свойствами?

*Решение.* Строение электронных оболочек атомов лития и калия представляем следующим образом: Li —  $1s^2 2s^1$  и K —  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^1$  или сокращенно  $[\text{He}]s^1$  и  $[\text{Ar}]s^1$ . Как видим, у обоих атомов на внешнем энергетическом уровне находится по одному электрону. Однако у атома калия внешний электрон расположен дальше от ядра (на четвертом энергетическом уровне, а у лития — на втором) и, следовательно, легче отрывается. Поскольку металлические свойства обусловлены способностью отдавать электроны, они сильнее выражены у калия.

**2.4.** Какой элемент четвертого периода периодической системы Д.И. Менделеева является наиболее типичным металлом? Почему?

**2.5.** Какие соединения с водородом образуют элементы главной подгруппы VI группы? Назовите наиболее и наименее прочное из них.

*Решение.* Элементы главной подгруппы VI группы — *p*-элементы. У их атомов на внешнем энергетическом уровне находится по 6 электронов:  $ns^2np^4$ . Следовательно, в соединениях с водородом они проявляют степень окисления  $-2$ . Формулы соединений:  $H_2O$ ,  $H_2S$ ,  $H_2Se$ ,  $H_2Te$ ,  $H_2Po$ .

С ростом порядкового номера элемента (от кислорода к полонию) увеличивается радиус атома, что обуславливает уменьшение прочности соединения с водородом (от  $H_2O$  к  $H_2Po$ ). Таким образом, из названных соединений наиболее прочным является вода  $H_2O$ , наименее прочным —  $H_2Po$ .

2.6. Напишите формулы водородных и высших кислородных соединений *p*-элементов IV группы периодической системы.

2.7. Опишите химические свойства элемента с порядковым номером 23 по его положению в периодической системе.

*Решение.* По периодической системе определяем, что элемент с порядковым номером 23 находится в четвертом периоде и в побочной подгруппе V группы. Этот элемент — ванадий V. Электронная формула V:  $1s^22s^22p^63s^23p^63d^54s^2$  или сокращенно  $[Ar]3d^54s^2$ . Следовательно, V — *d*-элемент.

Элемент может легко отдавать 2 электрона с 4-го уровня, проявляя степень окисления  $+2$ . При этом он образует оксид  $VO$  и гидроксид  $V(OH)_2$ , проявляющие основные свойства. Газообразных водородных соединений ванадия не образует, так как расположен в побочной подгруппе.

Атом ванадия может также отдавать электроны с *d*-подуровня предпоследнего энергетического уровня (3 электрона) и, таким образом, проявлять высшую степень окисления  $+5$  (численно равную номеру группы, в которой расположен элемент). Оксид, соответствующий высшей степени окисления,  $V_2O_5$ . Этот оксид обладает кислотными свойствами. В качестве гидроксида ему соответствует неустойчивая метаванадиевая кислота  $HVO_3$  (соли ее — ванадаты — устойчивые соединения).

2.8. На основании положения кальция в периодической системе элементов Д.И. Менделеева напишите формулы его высшего оксида, гидроксида и хлорида.

2.9. Исходя из положения галлия в периодической системе элементов Д.И. Менделеева, опишите важнейшие свойства простого вещества и соединений элемента.

2.10. Один из элементов, предсказанных Д.И. Менделеевым, образует оксид, массовая доля кислорода в котором составляет

0,305. Элемент проявляет в этом оксиде степень окисления, равную +4. Определите относительную атомную массу этого элемента и назовите его. *Ответ:* 73; германий.

2.11. Элемент образует высший оксид состава  $\text{ЭO}_6$ . С водородом этот же элемент образует летучее соединение, массовая доля водорода в котором составляет 5,88%. Рассчитайте относительную атомную массу элемента и назовите его. *Ответ:* 32; сера.

2.12. Какой элемент пятого периода периодической системы Д.И. Менделеева является наиболее типичным неметаллом? Почему?

### Изотопы. Ядерные реакции

Молярной долей вещества называется отношение количества данного вещества к общему количеству вещества системы, т. е.

$$\chi(A) = \frac{n(A)}{n}, \quad (2.1)$$

где  $\chi(A)$  — молярная доля вещества  $A$ ;  $n(A)$  — количество вещества  $A$ ;  $n$  — общее количество вещества системы. Если, например, система состоит из двух веществ  $A$  и  $B$ , то  $n = n(A) + n(B)$ . Молярная доля — безразмерная величина, ее выражают в долях или в процентах. При помощи молярной доли показывают, например, содержание изотопов в природе.

2.13. Определите относительную атомную массу бора, если известно, что молярная доля изотопа  $^{10}\text{B}$  составляет 19,6%, а изотопа  $^{11}\text{B}$  — 80,4%.

*Решение.* Выбираем для расчетов образец бора с числом атомов  $N$ . Тогда общее количество вещества системы (элемента бора) составит:

$$n = \frac{N}{N_A},$$

где  $N_A$  — постоянная Авогадро.

Определяем количества веществ изотопов  $^{10}\text{B}$  и  $^{11}\text{B}$

$$n(^{10}\text{B}) = n\chi(^{10}\text{B}); n(^{10}\text{B}) = 0,196 \frac{N}{N_A} \text{ моль};$$

$$n({}^{11}\text{B}) = n\chi({}^{11}\text{B}); n({}^{11}\text{B}) = 0,804 \frac{N}{N_A} \text{ моль.}$$

Определяем число атомов  ${}^{10}\text{B}$  и  ${}^{11}\text{B}$ , содержащихся в  $N$  атомах бора:

$$N({}^{10}\text{B}) = n({}^{10}\text{B}) \cdot N_A; N({}^{10}\text{B}) = 0,196 N;$$

$$N({}^{11}\text{B}) = n({}^{11}\text{B}) \cdot N_A; N({}^{11}\text{B}) = 0,804 N.$$

Вычисляем массу атомов  ${}^{10}\text{B}$  и  ${}^{11}\text{B}$  в относительных единицах:

$$m_r({}^{10}\text{B}) = N({}^{10}\text{B}) \cdot A_r({}^{10}\text{B}); m_r({}^{10}\text{B}) = 0,196 N \cdot 10 = 1,96 N;$$

$$m_r({}^{11}\text{B}) = N({}^{11}\text{B}) \cdot A_r({}^{11}\text{B}); m_r({}^{11}\text{B}) = 0,804 N \cdot 11 = 8,844 N.$$

Рассчитываем массу  $N$  атомов бора в относительных единицах:

$$m_r(\text{B}) = m_r({}^{10}\text{B}) + m_r({}^{11}\text{B}); m_r(\text{B}) = 1,96 N + 8,844 N \approx 10,8 N.$$

Определяем среднюю относительную массу одного атома бора, т. е. относительную атомную массу химического элемента бора:

$$A_r(\text{B}) = \frac{m_r(\text{B})}{N}; A_r(\text{B}) = \frac{10,8N}{N} = 10,8.$$

**2.14.** Медь имеет два изотопа:  ${}^{63}\text{Cu}$  и  ${}^{65}\text{Cu}$ . Молярные доли их в природной меди составляют 73 и 27% соответственно. Определите среднюю относительную атомную массу меди. *Ответ:* 63,5.

**2.15.** Определите относительную атомную массу элемента кремния, если он состоит из трех изотопов:  ${}^{28}\text{Si}$  (молярная доля 92,3%),  ${}^{29}\text{Si}$  (4,7%) и  ${}^{30}\text{Si}$  (3,0%). *Ответ:* 28,1.

**2.16.** Природный хлор содержит два изотопа  ${}^{35}\text{Cl}$  и  ${}^{37}\text{Cl}$ . Относительная атомная масса хлора равна 35,45. Определите молярную долю каждого изотопа хлора.

*Решение.* Обозначаем молярную долю изотопа  ${}^{35}\text{Cl}$  в природном хлоре буквой  $x$ , т.е.  $\chi({}^{35}\text{Cl}) = x$ . Тогда  $\chi({}^{37}\text{Cl}) = 1 - x$ .

В  $N$  атомах хлора количеством вещества

$$n = \frac{N}{N_A}$$

содержится

$$n({}^{35}\text{Cl}) = n\chi({}^{35}\text{Cl}); n({}^{35}\text{Cl}) = \frac{N}{N_A} x;$$

$$n(^{37}\text{Cl}) = n\chi(^{37}\text{Cl}); n(^{37}\text{Cl}) = \frac{N}{N_A}(1-x).$$

Определяем число атомов  $^{35}\text{Cl}$  и  $^{37}\text{Cl}$  в  $N$  атомах природного хлора:

$$N(^{35}\text{Cl}) = n(^{35}\text{Cl}) \cdot N_A; N(^{35}\text{Cl}) = Nx;$$

$$N(^{37}\text{Cl}) = n(^{37}\text{Cl}) \cdot N_A; N(^{37}\text{Cl}) = N(1-x).$$

Масса атомов в относительных единицах составляет:

$$m_r(^{35}\text{Cl}) = N(^{35}\text{Cl}) \cdot A_r(^{35}\text{Cl}); m_r(^{35}\text{Cl}) = Nx \cdot 35;$$

$$m_r(^{37}\text{Cl}) = N(^{37}\text{Cl}) \cdot A_r(^{37}\text{Cl}); m_r(^{37}\text{Cl}) = N(1-x) \cdot 37.$$

Определяем среднюю массу одного атома:

$$A_r(\text{Cl}) = \frac{m_r(\text{Cl})}{N}; A_r(\text{Cl}) = \frac{Nx \cdot 35 + N(1-x)37}{N} = 37 - 2x.$$

Так как  $A_r(\text{Cl}) = 35,45$ , составляем уравнение

$$35,45 = 37 - 2x.$$

Решая это уравнение, получаем

$$x = 0,775, 1-x = 1 - 0,775 = 0,225.$$

Таким образом,  $\chi(^{35}\text{Cl}) = 0,775$  (77,5%);  $\chi(^{37}\text{Cl}) = 0,225$  (22,5%).

**2.17.** Относительная атомная масса неона равна 20,2. Неон состоит из двух изотопов:  $^{20}\text{Ne}$  и  $^{22}\text{Ne}$ . Рассчитайте молярную долю каждого изотопа в природном неоне. *Ответ:* 90%  $^{20}\text{Ne}$  и 10%  $^{22}\text{Ne}$ .

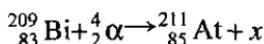
**2.18.** Природный бром содержит два изотопа. Молярная доля изотопа  $^{79}\text{Br}$  равна 55%. Какой еще изотоп входит в состав элемента брома, если его относительная атомная масса равна 79,9? *Ответ:*  $^{81}\text{Br}$ .

**2.19.** Сколько различных видов молекул оксида углерода (IV) можно получить из изотопа углерода  $^{12}\text{C}$  и трех изотопов кислорода:  $^{16}\text{O}$ ,  $^{17}\text{O}$  и  $^{18}\text{O}$ ? Напишите формулы всех оксидов и рассчитайте их молярные массы. *Ответ:* 6 видов молекул.

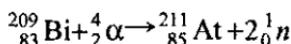
**2.20.** Элемент астат (изотоп  $^{211}_{85}\text{At}$ ) был получен облучением изотопа висмута  $^{209}_{83}\text{Bi}$   $\alpha$ -частицами (ядрами атомов гелия). Напишите уравнение ядерной реакции в полной и сокращенной формах.

*Решение.* При составлении уравнений ядерных реакций необходимо учитывать закон сохранения массы веществ (масса электронов при этом не учитывается). Кроме того, заряды всех частиц в левой и правой частях уравнения должны быть равны.

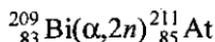
В левой части записываем взаимодействующие ядра, в правой — продукты реакции. Учитывая порядковые номера и относительные массы атомов, напомним схему реакции:



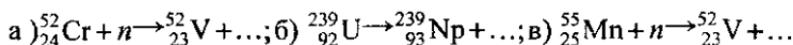
Очевидно, частица  $x$  должна иметь заряд 0 (так как  $83 + 2 = 85$ ) и атомную массу  $209 + 4 - 211 = 2$ . Частица с зарядом 0 — это нейтрон  ${}_0^1n$ , следовательно, должно образоваться два нейтрона. Окончательный вид уравнения



или в сокращенной форме



**2.21.** Допишите уравнения ядерных реакций и изобразите их в сокращенной форме:

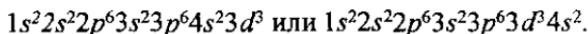


**2.22.** Рассчитайте число протонов и нейтронов в ядре атома технеция (изотоп с атомной массой 99) и ядре атома радия (изотоп с атомной массой 226). *Ответ:* Tc (43p, 56n); Ra (88p, 138n).

### Строение электронных оболочек атомов

**2.23.** Напишите электронную формулу элемента, атом которого содержит на 3  $d$ -подуровне три электрона. В каком периоде, группе и подгруппе он находится и как этот элемент называется?

*Решение.* После завершения подуровня  $4s$  заполняется электронами  $3d$ -подуровень:



Общее число электронов в атоме, которое определяет порядковый номер элемента в периодической системе, — 23. Это ванадий. Из электронной формулы видно, что этот элемент находится

в четвертом периоде, V группе (пять валентных электронов:  $3d^34s^2$ ), побочной подгруппе (элемент *d*-семейства).

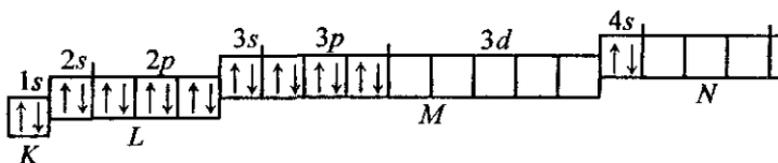
**2.24.** Составьте электронную формулу и сокращенную электронную формулу элемента с порядковым номером 20. Покажите распределение электронов по орбиталям.

*Решение.* По порядковому номеру заключаем: в атоме 20 электронов. Данный элемент — кальций. Электронная формула в соответствии с принципом наименьшей энергии имеет вид

$$1s^22s^22p^63s^23p^64s^2 (2 + 2 + 6 + 2 + 6 + 2) = 20.$$

Более компактное написание электронной формулы — ее называют сокращенной электронной формулой — будет  $[Ar]4s^2$ . В ней та часть, которая соответствует заполненным электронным уровням благородного газа, обозначается его символом (в квадратных скобках) и рядом изображаются остальные электроны.

Электронной формуле кальция соответствует следующее распределение электронов по орбиталям:



**2.25.** Напишите электронную формулу элемента иода. Укажите распределение электронов по орбиталям.

**2.26.** Сколько электронных уровней содержат атомы элементов с порядковыми номерами 15, 29 и 51?

**2.27.** Напишите электронные формулы и изобразите распределение электронов по орбиталям для элементов с порядковыми номерами 13, 27 и 56.

**2.28.** Изобразите распределение электронов по орбиталям для элементов с порядковыми номерами 32 и 40.

**2.29.** Электронная формула элемента имеет окончание ...  $3d^54s^2$ . Определите порядковый номер этого элемента. *Ответ:* 25.

**2.30.** Напишите электронные формулы ионов  $Fe^{3+}$  и  $S^{2-}$ .

### Химическая связь. Валентность и степень окисления

**2.31.** Определите, как изменяется прочность соединений в ряду: HF, HCl, HBr, HI.

*Решение.* У этих двухатомных молекул прочность связи зависит от длины связи. А поскольку радиус атома при переходе от фтора к йоду возрастает, то длина связи Н—галоген в этом направлении возрастает, т. е. прочность соединений при переходе от фтора к йоду уменьшается.

**2.32.** Сера образует химические связи с калием, водородом, бромом и углеродом. Какие из связей наиболее и наименее полярны? Укажите, в сторону какого атома происходит смещение электронной плотности связи.

*Решение.* Используя значения относительных электроотрицательностей элементов, находим разности относительных электроотрицательностей серы и элементов, образующих с нею химическую связь:

а) сера — калий:  $2,6 - 0,91 = 1,69$ , смещение в сторону атома серы;

б) сера — водород:  $2,6 - 2,1 = 0,5$ , смещение в сторону атома серы;

в) сера — бром:  $2,6 - 2,74 = -0,14$ , смещение в сторону атома брома;

г) сера — углерод:  $2,6 - 2,5 = 0,1$ , смещение в сторону атома серы.

Чем больше по абсолютному значению разность относительных электроотрицательностей, тем более полярна связь. В данном примере наиболее полярной является связь сера — калий, наименее полярной — связь сера — углерод.

**2.33.** Какая из химических связей Н—Сl, Н—Br, Н—I, Н—S, Н—Р является наиболее полярной? Укажите, в какую сторону смещается электронная плотность связи. *Ответ:* Н → Сl.

**2.34.** В каком из приведенных ниже соединений связь наиболее и наименее полярна: NaI, NaBr, CsI? (Для решения используйте приложение 4.) *Ответ:* наиболее полярна в NaBr, наименее — в NaI.

**2.35.** Определите степень окисления азота в веществах:

а)  $N_2O_4$ ; б)  $(NH_4)_2CO_3$ ; в)  $NO_2^-$ .

*Решение.* а) Степень окисления азота  $x$ , кислорода  $-2$ . Исходя из нейтральности молекулы, составляем уравнение:

$$2x + 4(-2) = 0,$$

откуда  $x = +4$ , т. е. степень окисления азота в  $N_2O_4$  равна  $+4$ .

б) Степень окисления водорода равна +1, кислорода –2, углерода в карбонатах (солях угольной кислоты  $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) +4, азота  $x$ . Составляем уравнение:

$$2x + 2 \cdot 4(+1) + (+4) + 3(-2) = 0,$$

откуда  $x = -3$ , т. е. степень окисления азота в  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  равна –3.

в) Степени окисления кислорода и азота равны соответственно –2 и  $x$ . Учитывая, что заряд иона  $\text{NO}_2$  равен –1, составляем уравнение:

$$x + 2(-2) = -1.$$

Отсюда  $x = +3$ , т. е. степень окисления азота в ионе  $\text{NO}_2^-$  равна +3.

**2.36.** Определите степень окисления железа в соединениях: а)  $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$ ; б)  $\text{K}_2\text{FeO}_4$ ; в)  $\text{Fe}(\text{OH})\text{SO}_4$ ; г)  $\text{FePO}_4$ ; д)  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . *Ответ:* а) +2; б) +6; в) +3; г) +3; д) +8/3.

**2.37.** Чему равна степень окисления элементов в соединениях: а)  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ; б)  $\text{Bi}_2(\text{SO}_4)_3$ ? *Ответ:* а) у Na +1; у O –2; у B +3; б) у Bi +3; у O –2; у S +6.

**2.38.** Рассчитайте степень окисления хлора в веществах:

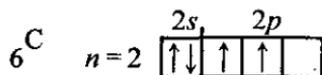
а)  $\text{KClO}_3$ ; б)  $\text{Cl}_2$ ; в)  $\text{NaClO}$ ; г)  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ ; д)  $\text{AlCl}_3$ . *Ответ:* а) +5; б) 0; в) +1; г) +1; д) –1.

**2.39.** Определите степень окисления азота в соединениях: а)  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ; б)  $\text{N}_2\text{H}_4$ ; в)  $\text{NH}_2\text{OH}$ ; г)  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ; д)  $\text{Pb}(\text{NO}_2)_2$ . *Ответ:* а) –3; б) –2; в) –1; г) +5; д) +3.

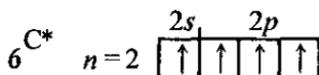
**2.40.** Определите степень окисления элементов в соединениях: а)  $\text{H}_2\text{O}_2$ ; б)  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ; в)  $\text{CaCO}_3$ ; г)  $\text{Mg}_3\text{N}_2$ ; д)  $\text{C}_2\text{H}_4$ . *Ответ:* а) +1 и –2; б) +1, +6, –2; в) +2, +4, –2; г) +2, –3; д) –2, +1.

**2.41.** Почему углерод в большинстве своих соединений четырехвалентен?

*Решение.* У углерода в невозбужденном атоме электроны на внешнем энергетическом уровне распределяются по орбиталям так:



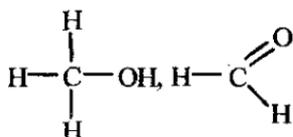
Согласно этой схеме, углерод двухвалентен, так как валентность в простейшем случае определяется числом неспаренных электронов. Но у атома углерода имеется одна свободная  $2p$ -орбиталь и при сравнительно небольшой затрате энергии один  $2s$ -электрон переходит в  $2p$ -состояние, в результате чего общее число неспаренных электронов увеличивается до четырех:



Энергия же, затрачиваемая на  $2s-2p$ -переход электрона, с избытком компенсируется энергией, которая выделяется при возникновении двух дополнительных связей.

**2.42.** Определите валентность и степень окисления углерода в соединениях:  $\text{CH}_3\text{OH}$ ,  $\text{HCOH}$ .

*Решение.* Из структурных формул этих соединений



следует, что углерод в этих соединениях

четыревалентен, а степень окисления его будет равна: в  $\text{CH}_3\text{OH}$ :  $x + 3(+1) + (-2) + 1 = 0$ ,  $x = -2$ , в  $\text{HCOH}$ :  $1 + x + (-2) + 1 = 0$ ,  $x = 0$ .

**2.43.** Определите валентность и степень окисления углерода в соединениях: а)  $\text{C}_2\text{H}_6$ ; б)  $\text{CO}_2$ ; в)  $\text{HCOOH}$ . *Ответ:* а) 4 и  $-3$ , б) 4 и  $+4$ , в) 4 и  $+2$ .

**2.44.** Сера в соединении с фтором проявляет высшую положительную степень окисления. Рассчитайте массу газообразного фторида серы (VI) объемом 1 л (нормальные условия) и его плотность по водороду. *Ответ:* 6,5 г; 73.

**2.45.** Определите, какой металл, проявляющий степень окисления  $+4$ , образует оксид с массовой долей кислорода 40%. *Ответ:* титан.

### 3. СКОРОСТЬ ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ, ХИМИЧЕСКОЕ РАВНОВЕСИЕ

#### Скорость химических реакций

**3.1.** В сосуде объемом 2 л смешали газ А количеством вещества 4,5 моль и газ В количеством вещества 3 моль. Газы А и В реагируют в соответствии с уравнением  $\text{A} + \text{B} = \text{C}$ . Через 20 с в системе образовался газ С количеством вещества 2 моль. Определите среднюю скорость реакции. Какие количества непрореагировавших газов А и В остались в системе?

*Решение.* Из уравнения реакции следует, что

$$\frac{\Delta n(\text{C})}{\Delta n(\text{A})} = \frac{1}{1} = 1; \Delta n(\text{A}) = \Delta n(\text{C}); \Delta n(\text{A}) = 2 \text{ моль},$$

где  $\Delta n$  — изменение количества вещества в ходе реакции.

Аналогично получаем, что

$$\Delta n(\text{B}) = \Delta n(\text{C}); \Delta n(\text{B}) = 2 \text{ моль}.$$

Следовательно, в сосуде осталось:

$$n_2(\text{A}) = n_1(\text{A}) - \Delta n(\text{A}); n_2(\text{A}) = (4,5 - 2) \text{ моль} = 2,5 \text{ моль};$$

$$n_2(\text{B}) = n_1(\text{B}) - \Delta n(\text{B}); n_2(\text{B}) = (3 - 2) \text{ моль} = 1 \text{ моль}.$$

Согласно определению, скорость реакции равна:

$$v = \frac{\Delta n(\text{A})}{V\tau},$$

где  $\Delta n_{(\text{A})}$  — изменение количества вещества, участвующего в реакции;  $V$  — объем системы;  $\tau$  — время реакции.

Определяем скорость реакции:

$$v = \frac{2 \text{ моль}}{2 \cdot 20 \text{ л} \cdot \text{с}} = 0,05 \frac{\text{моль}}{\text{л} \cdot \text{с}}.$$

**3.2.** Две реакции протекали с такой скоростью, что за единицу времени в первой образовался сероводород массой 3 г, во второй — иодоводород массой 10 г. Какая из реакций протекала с большей средней скоростью? *Ответ:* первая.

**3.3.** Реакция при температуре 50 °С протекает за 2 мин 15 с. За сколько времени закончится эта реакция при температуре 70 °С, если в данном температурном интервале температурный коэффициент скорости реакции равен 3?

*Решение.* При увеличении температуры с 50 до 70 °С скорость реакции в соответствии с правилом Вант-Гоффа возрастает:

$$\frac{v(t_2)}{v(t_1)} = \gamma^{\frac{t_2 - t_1}{10}},$$

где  $t_2 = 70^\circ \text{C}$ ,  $t_1 = 50^\circ \text{C}$ , а  $v(t_2)$  и  $v(t_1)$  — скорости реакции при данных температурах. Получаем

$$\frac{v(t_2)}{v(t_1)} = 3^{\frac{70-50}{10}} = 3^2 = 9,$$

т. е. скорость реакции увеличивается в 9 раз.

В соответствии с определением скорость реакции обратно пропорциональна времени реакции, следовательно,

$$\frac{v(t_2)}{v(t_1)} = \frac{\tau(t_2)}{\tau(t_1)},$$

где  $\tau(t_1)$  и  $\tau(t_2)$  — время реакции при температурах  $t_1$  и  $t_2$ . Отсюда получаем

$$\tau(t_2) = \tau(t_1) \frac{v(t_1)}{v(t_2)}.$$

Учитывая, что  $\tau(t_1) = 135$  с (2 мин 15 с), определяем время реакции при температуре  $t_2$ :

$$\tau(t_2) = 135 \cdot \frac{1}{9} \text{ с} = 15 \text{ с}.$$

**3.4.** На сколько градусов надо увеличить температуру, чтобы скорость реакции возросла в 27 раз? Температурный коэффициент скорости реакции равен 3. *Ответ:* на 30 °С.

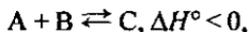
**3.5.** При 20 °С реакция протекает за 2 мин. За сколько времени будет протекать эта же реакция: а) при 0 °С; б) при 50 °С? Температурный коэффициент скорости реакции равен 2. *Ответ:* а) 8 мин; б) 15 с.

**3.6.** При температуре 30 °С реакция протекает за 25 мин, при 50 °С — за 4 мин. Рассчитайте температурный коэффициент скорости реакции. *Ответ:* 2,5.

**3.7.** Скорость реакции при 0 °С равна 1 моль/(л · с). Вычислите скорость этой реакции при 30 °С, если температурный коэффициент скорости реакции равен 3. *Ответ:* 27 моль/(л · с).

### Химическое равновесие

**3.8.** В системе



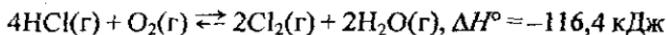
где А, В и С — газы, установилось равновесие. Какое влияние на равновесное количество вещества С в единице объема системы окажут: а) увеличение давления; б) увеличение количества вещества А в системе; в) повышение температуры?

*Решение.* а) При протекании реакции общее количество вещества газообразных веществ уменьшается (с 2 моль до 1 моль). В соответствии с принципом Ле Шателье повышение давления приведет к смещению равновесия в сторону реакции, приводящей к меньшему количеству вещества газов, т. е. в сторону вещества С. Следовательно,  $n(C)$  увеличивается.

б) При увеличении  $n(A)$  равновесие будет смещаться в сторону реакции, которая уменьшает  $n(A)$ , т. е. в сторону образования продукта С. Следовательно,  $n(C)$  увеличится.

в) Так как  $\Delta H^\circ < 0$ , то теплота выделяется в ходе прямой реакции, она является экзотермической. Обратная реакция будет эндотермической. Повышение температуры всегда благоприятствует протеканию реакции с поглощением теплоты, т. е. равновесие сместится в сторону веществ А и В, и  $n(C)$  уменьшится.

**3.9.** При определенных условиях реакция хлороводорода с кислородом является обратимой:



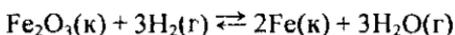
Какое влияние на равновесное состояние системы окажут: а) увеличение давления; б) повышение температуры; в) введение катализатора?

*Решение.* а) Все вещества в системе — газы. В соответствии с принципом Ле Шателье повышение давления приводит к смещению равновесия в сторону реакции, приводящей к меньшему количеству вещества газов, т. е. в сторону образования  $\text{Cl}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ .

б) Поскольку прямая реакция экзотермическая, то повышение температуры будет способствовать протеканию процесса с поглощением теплоты, т. е. равновесие сместится в сторону протекания эндотермической реакции — образования  $\text{HCl}$  и  $\text{O}_2$ .

в) Катализатор в одинаковой степени ускоряет прямую и обратную реакции, поэтому в его присутствии равновесные количества веществ не изменятся.

**3.10.** Как повлияет увеличение давления на химическое равновесие в обратимой системе:



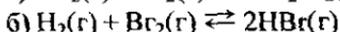
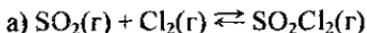
*Решение.* В гетерогенной равновесной системе повышение давления должно привести к смещению равновесия в сторону реакции, приводящей к образованию меньшего количества веществ газов. Так как количества веществ газов, образующиеся при протекании прямой и обратной реакций, одинаковы, то изменение давления не приведет к смещению равновесия.

**3.11.** Реакция протекает по уравнению



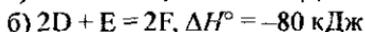
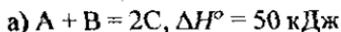
Изменением каких параметров можно добиться смещения равновесия в сторону образования оксида серы (VI)? *Ответ:* увеличением количеств веществ  $\text{SO}_2$  или  $\text{O}_2$ , увеличением давления, уменьшением температуры.

**3.12.** Как повлияет увеличение давления на равновесие в системах:



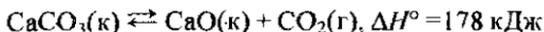
*Ответ:* а) сместится в сторону образования  $\text{SO}_2\text{Cl}_2$ ; б) не сместится.

**3.13.** Как повлияет уменьшение температуры на равновесие в следующих системах:



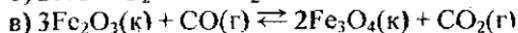
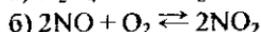
*Ответ:* а) сместится в сторону образования веществ А и В; б) сместится в сторону вещества F.

**3.14.** Как надо изменить температуру и давление (увеличить или уменьшить), чтобы равновесие в реакции разложения карбоната кальция



сместить в сторону продуктов разложения? *Ответ:* увеличить температуру, уменьшить давление.

**3.15.** Как повлияет уменьшение давления на равновесие в реакциях:



Ответ: а) сместится в сторону  $\text{NO}_2$ ; б) сместится в сторону  $\text{NO}$  и  $\text{O}_2$ ; в) не сместится.

#### 4. РАСТВОРЫ. ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКАЯ ДИССОЦИАЦИЯ

##### Массовая доля компонента раствора

4.1. Какую массу фосфата калия и воды надо взять для приготовления раствора с массовой долей  $\text{K}_3\text{PO}_4$  8% массой 250 г?

Решение. Используя формулу (1.2), определяем, какая масса соли потребуется для приготовления раствора с  $w(\text{K}_3\text{PO}_4) = 0,08$  (8%) массой 250 г:

$$m(\text{K}_3\text{PO}_4) = mw(\text{K}_3\text{PO}_4); m(\text{K}_3\text{PO}_4) = 250 \cdot 0,08 \text{ г} = 20 \text{ г}.$$

Находим массу воды, необходимую для приготовления раствора:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = m - m(\text{K}_3\text{PO}_4); m(\text{H}_2\text{O}) = (250 - 20) \text{ г} = 230 \text{ г}.$$

4.2. Какую массу соли и воды надо взять для приготовления раствора с массовой долей сульфата натрия 0,12 массой 40 кг?  
Ответ: 4,8 кг сульфата натрия, 35,2 кг воды.

4.3. В воде объемом 200 мл растворили соль массой 40 г. Определите массовую долю соли в полученном растворе, приняв плотность воды равной 1 г/мл.

Решение. Определяем массу растворителя (воды):

$$m(\text{H}_2\text{O}) = V(\text{H}_2\text{O}) \cdot \rho(\text{H}_2\text{O}), m(\text{H}_2\text{O}) = 200 \cdot 1 \text{ г} = 200 \text{ г},$$

где  $V(\text{H}_2\text{O})$  — объем воды;  $\rho(\text{H}_2\text{O})$  — ее плотность.

Масса полученного раствора составляет:

$$m = m(\text{соли}) + m(\text{H}_2\text{O}); m = (40 + 200) \text{ г} = 240 \text{ г}.$$

Рассчитываем массовую долю соли в растворе:

$$w(\text{соли}) = \frac{m(\text{соли})}{m}; w(\text{соли}) = \frac{40}{240} = 0,167, \text{ или } 16,7\%.$$

4.4. В бензоле объемом 170 мл растворили серу массой 1,8 г. Плотность бензола равна 0,88 г/мл. Определите массовую долю серы в растворе. Ответ: 1,19%.

**4.5.** При упаривании раствора сульфата натрия соль выделяется в виде кристаллогидрата  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ . Какую массу кристаллогидрата можно получить из раствора объемом 200 мл с массовой долей сульфата натрия 15%, плотность которого 1,14 г/мл?

*Решение.* Масса раствора сульфата натрия равна:

$$m = V\rho, m = 200 \cdot 1,14 \text{ г} = 228 \text{ г},$$

где  $V$  — объем раствора;  $\rho$  — его плотность.

Рассчитываем массу  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , который может быть получен из раствора массой 228 г:

$$m(\text{Na}_2\text{SO}_4) = mw(\text{Na}_2\text{SO}_4); m(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 228 \cdot 0,15 \text{ г} = 34,2 \text{ г}.$$

Определяем количество вещества сульфата натрия:

$$n(\text{Na}_2\text{SO}_4) = \frac{m(\text{Na}_2\text{SO}_4)}{M(\text{Na}_2\text{SO}_4)};$$

$$n(\text{Na}_2\text{SO}_4) = \frac{34,2}{142} \text{ моль} = 0,241 \text{ моль}.$$

Из формулы кристаллогидрата  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  следует:

$$m(\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = n(\text{Na}_2\text{SO}_4); n(\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = 0,241 \text{ моль}.$$

Определяем массу кристаллогидрата, который может быть получен:

$$m(\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = n(\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) \cdot M(\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O});$$

$$m(\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = 0,241 \cdot 322 \text{ г} = 77,6 \text{ г}.$$

**4.6.** Какую массу медного купороса  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  и воды надо взять для приготовления раствора сульфата меди (II) массой 40 кг с массовой долей  $\text{CuSO}_4$  2%? *Ответ:* 1,25 кг медного купороса и 38,75 кг воды.

**4.7.** В воде массой 40 г растворили железный купорос  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  массой 3,5 г. Определите массовую долю сульфата железа (II) в полученном растворе. *Ответ:* 4,4%.

**4.8.** Какой объем раствора серной кислоты плотностью 1,8 г/мл с массовой долей  $\text{H}_2\text{SO}_4$  88% надо взять для приготовления раствора кислоты объемом 300 мл и плотностью 1,3 г/мл с массовой долей  $\text{H}_2\text{SO}_4$  40%?

*Решение.* Масса раствора кислоты, который надо приготовить, составляет:

$$m = V\rho, m = 300 \cdot 1,3 \text{ г} = 390 \text{ г.}$$

Определяем массу растворенного вещества:

$$m(\text{H}_2\text{SO}_4) = mw(\text{H}_2\text{SO}_4); m(\text{H}_2\text{SO}_4) = 390 \cdot 0,4 \text{ г} = 156 \text{ г.}$$

Такая же масса  $\text{H}_2\text{SO}_4$  должна содержаться и в растворе с  $w'(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,88$  (88%) массой  $m'$ . Поэтому

$$m' = \frac{m(\text{H}_2\text{SO}_4)}{w'(\text{H}_2\text{SO}_4)}; m' = \frac{156}{0,88} \text{ г} = 177,3 \text{ г.}$$

Рассчитываем объем раствора кислоты:

$$V' = \frac{m'}{\rho'}; V' = \frac{177,3}{1,8} \text{ мл} = 98,5 \text{ мл.}$$

**4.9.** К раствору серной кислоты объемом 400 мл, плотность которого равна 1,1 г/мл, а массовая доля  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,15, добавили воду массой 60 г. Определите массовую долю серной кислоты в полученном растворе.

*Решение.* Масса исходного раствора кислоты составляет:

$$m = V\rho, m = 400 \cdot 1,1 \text{ г} = 440 \text{ г.}$$

Определяем массу растворенного вещества, содержащегося в исходном растворе:

$$m(\text{H}_2\text{SO}_4) = w(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot m; m(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,15 \cdot 440 \text{ г} = 66 \text{ г.}$$

Такая же масса кислоты будет содержаться и в растворе после добавления воды.

Рассчитываем массу раствора  $m'$  после добавления воды:

$$m' = m + m(\text{H}_2\text{O}); m' = (440 + 60) \text{ г} = 500 \text{ г.}$$

Вычисляем массовую долю серной кислоты в полученном растворе:

$$w'(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{m(\text{H}_2\text{SO}_4)}{m'}; w'(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{66}{500} = 0,132, \text{ или } 13,2\%.$$

**4.10.** В лаборатории имеется раствор с массовой долей гидроксида натрия 30%, плотность которого 1,33 г/мл. Какой объем этого раствора надо взять для приготовления раствора объемом 250 мл с массовой долей гидроксида натрия 14% и плотностью 1,15 г/мл?  
*Ответ:* 100,9 мл.

4.11. К раствору массой 250 г, массовая доля соли в котором составляет 10%, прилили воду объемом 150 мл. Приняв плотность воды равной 1 г/мл, определите массовую долю соли в полученном растворе. *Ответ:* 6,25%.

4.12. В воде объемом 200 мл растворили образец соли, получив раствор с массовой долей растворенного вещества 20%. К этому раствору еще добавили воду объемом 150 мл. Определите массовую долю соли в полученном растворе. Плотность воды равна 1 г/мл. *Ответ:* 12,5%.

4.13. В воде массой 600 г растворили аммиак объемом 560 мл (нормальные условия). Определите массовую долю аммиака в полученном растворе.

*Решение.* Определяем количество вещества аммиака. Из формулы (1.3) следует:

$$n(\text{NH}_3) = \frac{V(\text{NH}_3)}{V_m}; n(\text{NH}_3) = \frac{0,56}{22,4} \text{ моль} = 0,025 \text{ моль.}$$

Масса аммиака составляет:

$$m(\text{NH}_3) = n(\text{NH}_3) \cdot M(\text{NH}_3); m(\text{NH}_3) = 0,025 \cdot 17 \text{ г} = 0,425 \text{ г.}$$

Определяем массу раствора:

$$m = m(\text{NH}_3) + m(\text{H}_2\text{O}); m = (0,425 + 600) \text{ г} \approx 600,4 \text{ г.}$$

Вычисляем массовую долю аммиака в растворе:

$$w(\text{NH}_3) = \frac{m(\text{NH}_3)}{m}; m(\text{NH}_3) = \frac{0,425}{600,4} = 7,1 \cdot 10^{-4}, \text{ или } 0,071\%.$$

4.14. Водный раствор с массовой долей аммиака 10% называют нашатырным спиртом. Какой объем газа потребуется при нормальных условиях для получения нашатырного спирта объемом 200 мл и плотностью 0,96 г/мл? *Ответ:* 25,3 л.

4.15. В воде массой 400 г растворили сероводород объемом 12 мл (нормальные условия). Определите массовую долю сероводорода в растворе. *Ответ:* 0,0046%.

4.16. Какую массу раствора с массовой долей карбоната калия 40% надо прибавить к воде массой 500 г для получения раствора с массовой долей  $\text{K}_2\text{CO}_3$  15%?

*Решение.* Обозначаем массу требуемого раствора с  $w(\text{K}_2\text{CO}_3) = 0,4$  (40%) буквой  $m$ . Определяем массу растворенного вещества:

$$m(\text{K}_2\text{CO}_3) = w(\text{K}_2\text{CO}_3) \cdot m; m(\text{K}_2\text{CO}_3) = 0,4 m.$$

Находим массу раствора  $m'$ , полученного после прибавления воды массой 500 г к исходному раствору:

$$m' = m + m(\text{H}_2\text{O}); m' = m + 500.$$

Таким образом, в растворе массой  $m' = m + 500$  содержится  $\text{K}_2\text{CO}_3$  массой 0,4  $m$ . Получаем

$$w'(\text{K}_2\text{CO}_3) = \frac{m(\text{K}_2\text{CO}_3)}{m'}.$$

Учитывая, что  $w'(\text{K}_2\text{CO}_3) = 0,15$ , и подставляя найденные значения для  $m(\text{K}_2\text{CO}_3)$  и  $m'$ , получаем уравнение

$$0,15 = \frac{0,4m}{m + 500}.$$

Решая уравнение, получаем, что  $m = 300$  г.

4.17. Какую массу раствора с массовой долей хлорида натрия 20% необходимо добавить к воде объемом 40 мл для получения раствора с массовой долей соли 6%? *Ответ:* 17,1 г.

4.18. Какой объем раствора плотностью 1,33 г/мл с массовой долей гидроксида натрия 30% надо прилить к воде объемом 200 мл для получения раствора с массовой долей  $\text{NaOH}$  8%? Плотность воды равна 1 г/мл. *Ответ:* 54,7 мл.

4.19. В лаборатории имеются растворы с массовой долей хлорида натрия 10 и 20%. Какую массу каждого раствора надо взять для получения раствора с массовой долей соли 12% массой 300 г?

*Решение 1.* Вводим обозначения:  $w_1(\text{NaCl}) = 0,1$  (10%);  $w_2(\text{NaCl}) = 0,2$  (20%);  $w(\text{NaCl}) = 0,12$  (12%). Из определения массовой доли следует:

$$w_1(\text{NaCl}) = \frac{m_1(\text{NaCl})}{m_1}; 0,1 = \frac{m_1(\text{NaCl})}{m_1};$$

$$m_1(\text{NaCl}) = 0,1 m_1. \quad (a)$$

Аналогично получаем:

$$w_2(\text{NaCl}) = \frac{m_2(\text{NaCl})}{m_2};$$

$$m_2(\text{NaCl}) = 0,2 m_2 \quad (6)$$

Масса NaCl в растворе, который надо приготовить, составляет:

$$m(\text{NaCl}) = m_1(\text{NaCl}) + m_2(\text{NaCl}).$$

Учитывая равенства (а) и (б), получаем

$$m(\text{NaCl}) = 0,1m_1 + 0,2m_2.$$

Для раствора с  $w(\text{NaCl}) = 0,12$  записываем

$$w(\text{NaCl}) = \frac{m(\text{NaCl})}{m}; 0,12 = \frac{0,1m_1 + 0,2m_2}{300}.$$

Отсюда следует:

$$m_1 + 2m_2 = 360, \quad (\text{в})$$

где  $m_1$  и  $m_2$  — массы растворов с  $w_1(\text{NaCl})$  и  $w_2(\text{NaCl})$  соответственно, которые необходимо взять.

Находим массу раствора, который надо приготовить:

$$m = m_1 + m_2$$

или

$$m_1 + m_2 = 300. \quad (\text{г})$$

Решая систему уравнений (в) и (г), получаем:  $m_1 = 240$  г,  $m_2 = 60$  г.

*Решение 2.* Задачу такого типа можно решить, используя правило смешения, которое поясним на примере.

Записываем друг под другом массовые доли исходных растворов, а правее между ними — массовую долю раствора, который необходимо приготовить:

$$\begin{array}{ccc} 0,2 & \searrow & 0,12 \\ & & \nearrow \\ 0,1 & \nearrow & \end{array}$$

Из большей массовой доли вычитаем заданную и записываем результат справа внизу; из заданной массовой доли вычитаем меньшую и записываем результат справа сверху:

$$\begin{array}{ccccc} 0,2 & \searrow & & \nearrow & 0,02 \\ & & 0,12 & & \\ 0,1 & \nearrow & & \searrow & 0,08 \end{array}$$

Числа 0,02 и 0,08 показывают, в каком массовом отношении надо взять растворы с  $w_2(\text{NaCl}) = 0,2$  (20%) и  $w_1(\text{NaCl}) = 0,1$  (10%) соответственно. Таким образом, масса раствора с  $w_2(\text{NaCl}) = 0,2$  составляет:

$$m_2 = \frac{m \cdot 0,02}{0,08 + 0,02}; m_2 = \frac{300 \cdot 0,02}{0,08 + 0,02} \text{ г} = 60 \text{ г.}$$

Определяем массу раствора с  $w_1(\text{NaCl}) = 0,1$ :

$$m_1 = \frac{m \cdot 0,08}{0,08 + 0,02}; m_1 = \frac{300 \cdot 0,08}{0,08 + 0,02} \text{ г} = 240 \text{ г.}$$

**4.20.** Какой объем раствора с массовой долей серной кислоты 60% (плотность 1,5 г/мл) и раствора с массовой долей серной кислоты 30% (плотность 1,2 г/мл) надо взять для приготовления раствора  $\text{H}_2\text{SO}_4$  массой 240 г с массовой долей кислоты 50%? *Ответ:* 106,7 мл (60%), 66,7 мл (30%).

**4.21.** Определите массу раствора с массовой долей карбоната натрия 0,1 и массу кристаллогидрата  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ , которые надо взять для приготовления раствора массой 540 г с массовой долей  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  0,15.

*Решение.* Эту задачу можно решить, используя правило смешения. Для этого надо определить массовую долю  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  в кристаллогидрате. Выбираем для расчетов образец кристаллогидрата количеством вещества 1 моль. Из формулы кристаллогидрата следует:

$$n(\text{Na}_2\text{CO}_3) = n(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}); n(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 1 \text{ моль.}$$

Массы веществ составляют:

$$m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = n(\text{Na}_2\text{CO}_3) \cdot M(\text{Na}_2\text{CO}_3); m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 1 \cdot 106 \text{ г} = 106 \text{ г;}$$

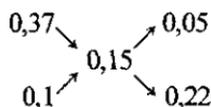
$$m(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = n(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) \cdot M(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O});$$

$$m(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = 1 \cdot 286 \text{ г} = 286 \text{ г.}$$

Определяем массовую долю  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  в кристаллогидрате:

$$w(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{m(\text{Na}_2\text{CO}_3)}{m(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O})}; w(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{106}{286} = 0,37$$

Составляем схему по правилу смешения:



Относительная масса кристаллогидрата составляет 0,05 из общей относительной массы  $0,05 + 0,22 = 0,27$ , т. е.

$$m(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = \frac{m \cdot 0,05}{0,27}; m(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = \frac{540 \cdot 0,05}{0,27} \text{ г} = 100 \text{ г}$$

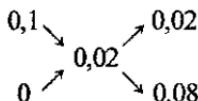
Вычисляем массу раствора  $m'$  с  $w(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0,1$ :

$$m' = \frac{m \cdot 0,22}{0,27}; m' = \frac{540 \cdot 0,22}{0,27} \text{ г} = 440 \text{ г.}$$

**4.22.** Определите массу кристаллогидрата  $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$  и раствора с массовой долей  $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$  0,15, которые надо взять для приготовления раствора с массовой долей сульфата хрома (III) 0,2 массой 795 г. *Ответ:*  $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$  массой 100 г, раствор массой 695 г.

**4.23.** Определите массу раствора с массовой долей  $\text{CuSO}_4$  10% и массу воды, которые потребуются для приготовления раствора массой 500 г с массовой долей  $\text{CuSO}_4$  2%.

*Решение\**. В схеме при использовании правила смешения воду можно представить как раствор с массовой долей растворенного вещества, равной 0:



Вычисляем массу раствора с  $w_1(\text{CuSO}_4) = 0,1$ :

$$m_1 = \frac{m \cdot 0,02}{0,02 + 0,08}; m_1 = \frac{500 \cdot 0,02}{0,02 + 0,08} \text{ г} = 100 \text{ г.}$$

Масса воды составляет:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m \cdot 0,08}{0,02 + 0,08}; m(\text{H}_2\text{O}) = \frac{500 \cdot 0,08}{0,02 + 0,08} \text{ г} = 400 \text{ г}$$

\* Аналогично можно решать задачи 4.6, 4.10, 4.16.

4.24. Какая масса воды и раствора с массовой долей хлорида магния 0,2 потребуется для приготовления раствора с массовой долей  $MgCl_2$  0,04 массой 300 г? *Ответ:* 60 г раствора и 240 г  $H_2O$ .

#### Объемная доля растворенного вещества

4.25. К метиловому спирту массой 32 г и плотностью 0,8 г/мл добавили воду до объема 80 мл. Определите объемную долю спирта в растворе.

*Решение.* Рассчитаем объем растворенного спирта:

$$V(\text{спирт}) = \frac{m(\text{спирт})}{\rho(\text{спирт})}; V(\text{спирт}) = \frac{32}{0,8} \text{ мл} = 40 \text{ мл.}$$

Определяем объемную долю спирта в растворе, используя формулу (1.5):

$$\varphi(\text{спирт}) = \frac{V(\text{спирт})}{V(\text{раствор})}; \varphi(\text{спирт}) = \frac{40}{80} = 0,5, \text{ или } 50\%.$$

4.26. При смешении воды объемом 50 мл и плотностью 1 г/мл и метилового спирта объемом 70 мл и плотностью 0,8 г/мл получим раствор с плотностью 0,9 г/мл. Определите объемную долю метилового спирта в растворе.

*Решение.* При смешении веществ объем раствора не равен сумме объемов растворенного вещества и растворителя. Поэтому вначале необходимо вычислить массу раствора.

Определяем массу воды:

$$m(H_2O) = V(H_2O) \cdot \rho(H_2O); m(H_2O) = 50 \cdot 1 \text{ г} = 50 \text{ г.}$$

Находим массу метилового спирта:

$$m(\text{спирт}) = V(\text{спирт}) \cdot \rho(\text{спирт}); m(\text{спирт}) = 70 \cdot 0,8 \text{ г} = 56 \text{ г.}$$

Масса раствора составляет:

$$m = m(H_2O) + m(\text{спирт}); m = (50 + 56) \text{ г} = 106 \text{ г.}$$

Определяем объем раствора:

$$V = \frac{m}{\rho}; V = \frac{106}{0,9} \text{ мл} = 117,8 \text{ мл.}$$

Рассчитываем объемную долю метилового спирта:

$$\varphi(\text{спирт}) = \frac{V(\text{спирт})}{V}; \varphi(\text{спирт}) = \frac{70}{117,8} = 0,594, \text{ или } 59,4\%.$$

**4.27.** Определите, какую массу глицерина плотностью 1,26 г/мл надо взять для приготовления водного раствора объемом 50 мл с объемной долей глицерина 30%. *Ответ:* 18,9 г.

**4.28.** К воде массой 40 г прилили ацетон объемом 100 мл и получили раствор с плотностью 0,88 г/мл. Определите объемную долю ацетона в растворе, если плотность ацетона равна 0,79 г/мл. *Ответ:* 74%.

### Молярная концентрация\*

**Молярная концентрация** — это отношение количества растворенного вещества к объему раствора, т. е.

$$c(X) = \frac{n(X)}{V}, \quad (4.1)$$

где  $c(X)$  — молярная концентрация вещества  $X$ ;  $n(X)$  — количество растворенного вещества  $X$ ;  $V$  — объем раствора. Единица СИ молярной концентрации — моль/м<sup>3</sup>, однако чаще используется единица моль/л. Единицу молярной концентрации обозначают буквой М. Например, запись 0,2М означает, что молярная концентрация равна 0,2 моль/л.

**4.29.** В воде растворили гидроксид калия массой 11,2 г, объем раствора довели до 200 мл. Определите молярную концентрацию полученного раствора.

---

\* Поскольку в программе для поступающих в вузы есть понятие «моль», то возможна такая формулировка задач: «Какое количество вещества содержится в растворе объемом 1 л ...», — что фактически является задачей на расчет молярной концентрации. Поэтому необходимо ознакомиться с этим способом выражения состава растворов.

*Решение.* Рассчитаем количество вещества растворенного гидроксида калия:

$$n(\text{KOH}) = \frac{m(\text{KOH})}{M(\text{KOH})}; n(\text{KOH}) = \frac{11,2}{56} \text{ моль} = 0,2 \text{ моль.}$$

Определяем молярную концентрацию раствора, используя формулу (4.1):

$$c(\text{KOH}) = \frac{n(\text{KOH})}{V}; c(\text{KOH}) = \frac{0,2}{0,2} \text{ моль/л} = 1 \text{ моль/л.}$$

**4.30.** Определите молярную концентрацию раствора, полученного при растворении сульфата натрия массой 42,6 г в воде массой 300 г, если плотность полученного раствора равна 1,12 г/мл.

*Решение.* Определите массу полученного раствора:

$$m = m(\text{Na}_2\text{SO}_4) + m(\text{H}_2\text{O}); m = (42,6 + 300) \text{ г} = 342,6 \text{ г.}$$

Рассчитаем объем раствора:

$$V = \frac{m}{\rho}; V = \frac{342,6}{1,12} \text{ мл} = 306 \text{ мл} = 0,306 \text{ л.}$$

Количество вещества сульфата натрия равно:

$$n(\text{Na}_2\text{SO}_4) = \frac{m(\text{Na}_2\text{SO}_4)}{M(\text{Na}_2\text{SO}_4)}; n(\text{Na}_2\text{SO}_4) = \frac{42,6}{142} \text{ моль} = 0,3 \text{ моль.}$$

Определяем молярную концентрацию раствора:

$$c(\text{Na}_2\text{SO}_4) = \frac{n(\text{Na}_2\text{SO}_4)}{V}; c(\text{Na}_2\text{SO}_4) = \frac{0,3}{0,306} \text{ моль/л} = 0,98 \text{ моль/л.}$$

**4.31.** В воде массой 128 г растворили метиловый спирт объемом 40 мл и плотностью 0,8 г/мл. Определите молярную концентрацию полученного раствора, если его плотность равна 0,97 г/мл.  
*Ответ:* 6,1М.

**4.32.** Аммиак, объем которого при нормальных условиях равен 2,8 л, растворили в воде. Объем раствора довели до 500 мл. Какое количество вещества аммиака содержится в таком растворе объемом 1 л? *Ответ:* 0,25 моль.

**4.33.** Какая масса хлорида калия потребуется для приготовления раствора этой соли объемом 300 мл и с концентрацией 0,15М KCl? *Ответ:* 3,35 г.

**4.34.** Определите молярную концентрацию раствора с массовой долей гидроксида натрия 0,2, плотность которого равна 1,22 г/мл.

*Решение.* Для решения задачи необходимо выбрать произвольные значения массы или объема раствора. Например, берем для расчетов образец раствора массой 100 г, т. е.  $m = 100$  г. Определяем массу растворенного гидроксида натрия:

$$m(\text{NaOH}) = m \cdot w(\text{NaOH}); m(\text{NaOH}) = 100 \cdot 0,2 \text{ г} = 20 \text{ г.}$$

Рассчитываем объем раствора:

$$V = \frac{m}{\rho}; V = \frac{100}{1,22} \text{ мл} = 82 \text{ мл} = 0,082 \text{ л.}$$

Количество вещества растворенного гидроксида натрия составляет:

$$n(\text{NaOH}) = \frac{m(\text{NaOH})}{M(\text{NaOH})}; n(\text{NaOH}) = \frac{20}{40} \text{ моль} = 0,5 \text{ моль.}$$

Определяем молярную концентрацию раствора:

$$c(\text{NaOH}) = \frac{n(\text{NaOH})}{V}; c(\text{NaOH}) = \frac{0,5}{0,082} \text{ моль/л} = 6,1 \text{ моль/л.}$$

**4.35.** Какое количество вещества нитрата натрия содержится в растворе объемом 1 л с массовой долей  $\text{NaNO}_3$  40%, плотность которого 1,32 г/мл? *Ответ:* 6,2 моль.

**4.36.** Определите массовую долю хлорида кальция в растворе 1,4M  $\text{CaCl}_2$ , плотность которого равна 1,12 г/мл. *Ответ:* 0,139.

**4.37.** Какой объем раствора с массовой долей серной кислоты 9,3% (плотность 1,05 г/мл) потребуется для приготовления раствора 0,35M  $\text{H}_2\text{SO}_4$  объемом 40 мл?

*Решение.* Определяем количество вещества  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , необходимое для приготовления раствора 0,35M  $\text{H}_2\text{SO}_4$  объемом 40 мл:

$$n(\text{H}_2\text{SO}_4) = c(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot V; n(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,35 \cdot 0,04 \text{ моль} = 0,014 \text{ моль.}$$

Находим массу растворенного вещества:

$$m(\text{H}_2\text{SO}_4) = n(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot M(\text{H}_2\text{SO}_4); m(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,014 \cdot 98 \text{ г} = 1,372 \text{ г.}$$

Определяем массу раствора с  $w(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,093$  (9,3%), в котором будет содержаться  $\text{H}_2\text{SO}_4$  массой 1,372 г:

$$m = \frac{m(\text{H}_2\text{SO}_4)}{w(\text{H}_2\text{SO}_4)}; m = \frac{1,372}{0,093} \text{ г} = 14,75 \text{ г.}$$

Рассчитываем требуемый объем раствора:

$$V = \frac{m}{\rho}; V = \frac{14,75}{1,05} \text{ мл} = 14,05 \text{ мл.}$$

**4.38.** Какой объем раствора 5М КОН потребуется для приготовления раствора 0,6М КОН объемом 250 мл? *Ответ:* 30 мл.

**4.39.** Какой объем раствора с массовой долей карбоната натрия 0,15 (плотность 1,16 г/мл) надо взять для приготовления раствора 0,45М  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  объемом 120 мл? *Ответ:* 32,9 мл.

**4.40.** В лаборатории имеется раствор 3М КСl. Определите его объем, который потребуется для приготовления раствора объемом 200 мл с массовой долей КСl 8% и плотностью 1,05 г/мл. *Ответ:* 75,2 мл.

**4.41.** К воде массой 200 г прилили раствор 2М КСl объемом 40 мл и плотностью 1,09 г/мл. Определите молярную концентрацию и массовую долю КСl в полученном растворе, если его плотность равна 1,015 г/мл.

*Решение.* Определяем массу исходного раствора КСl:

$$m = V\rho; m = 40 \cdot 1,09 \text{ г} = 43,6 \text{ г.}$$

Вычисляем массу полученного раствора:

$$m' = m(\text{H}_2\text{O}) + m; m' = (200 + 43,6) \text{ г} = 243,6 \text{ г.}$$

Количество вещества соли в исходном растворе составляет:

$$n(\text{KCl}) = c(\text{KCl}) \cdot V; n(\text{KCl}) = 2 \cdot 0,04 \text{ моль} = 0,08 \text{ моль.}$$

Определяем массу соли в растворе:

$$m(\text{KCl}) = n(\text{KCl}) \cdot M(\text{KCl}); m(\text{KCl}) = 0,08 \cdot 74,5 \text{ г} = 5,96 \text{ г.}$$

Такая же масса КСl будет содержаться в растворе после разбавления.

Определяем массовую долю КСl в полученном растворе:

$$w'(\text{KCl}) = \frac{m(\text{KCl})}{m'}; w'(\text{KCl}) = \frac{5,96}{243,6} = 0,0245, \text{ или } 2,45\%.$$

Объем полученного раствора равен:

$$V' = \frac{m'}{\rho'}; V' = \frac{243,6}{1,015} \text{ мл} = 240 \text{ мл} = 0,24 \text{ л.}$$

Рассчитываем молярную концентрацию KCl в полученном растворе:

$$c'(\text{KCl}) = \frac{n'(\text{KCl})}{V'}; c'(\text{KCl}) = \frac{0,08}{0,24} \text{ М} = 0,33 \text{ М.}$$

4.42. Какой объем раствора 3М NaCl плотностью 1,12 г/мл надо прилить к воде массой 200 г, чтобы получить раствор с массовой долей NaCl 10%? *Ответ:* 315 мл.

4.43. К раствору 3,5М NH<sub>4</sub>Cl объемом 80 мл и плотностью 1,05 г/мл прилили воду объемом 40 мл (плотность воды принять равной 1 г/мл). Определите массовую долю соли в полученном растворе. *Ответ:* 12,1%.

4.44. Определите объемную и массовую доли этилового спирта в водном растворе 11М C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH, плотность которого составляет 0,9 г/мл. Плотность этилового спирта равна 0,79 г/мл, воды — 1 г/мл. *Ответ:* массовая доля — 0,562; объемная доля — 0,641.

### Растворимость

4.45. Коэффициент растворимости хлорида аммония при температуре 15 °С равен 35 г. Определите массовую долю хлорида аммония в насыщенном при температуре 15 °С растворе.

*Решение.* Коэффициент растворимости показывает, что при температуре 15 °С в воде массой 100 г растворяется хлорид аммония массой 35 г.

Выбираем для расчетов образец раствора, который содержит воду массой 100 г. Тогда масса растворенной соли будет составлять 35 г.

Находим массу раствора:

$$m = m(\text{H}_2\text{O}) + m(\text{NH}_4\text{Cl}); m = (100 + 35) \text{ г} = 135 \text{ г.}$$

Определяем массовую долю хлорида аммония:

$$w(\text{NH}_4\text{Cl}) = \frac{m(\text{NH}_4\text{Cl})}{m}; w(\text{NH}_4\text{Cl}) = \frac{35}{135} = 0,259, \text{ или } 25,9\%.$$

4.46. Массовая доля хлорида меди (II) в насыщенном при температуре 20 °С растворе этой соли равна 42,7%. Определите коэф-

фициент растворимости хлорида меди (II) при данной температуре. *Ответ:* 74,5 г.

4.47. В воде массой 100 г при температуре 20 °С растворяется гидроксид натрия массой 108,7 г. Какую массу гидроксида натрия и воды надо взять для приготовления насыщенного при температуре 20 °С раствора щелочи массой 40 г? *Ответ:* NaOH — 20,8 г; H<sub>2</sub>O — 19,2 г.

4.48. В воде массой 100 г при температуре 0 °С растворяется фторид натрия массой 4,1 г, а при температуре 40 °С — массой 4,5 г. Какая масса фторида натрия выпадет в осадок при охлаждении насыщенного при температуре 40 °С раствора NaF массой 500 г до температуры 0 °С?

*Решение.* Масса насыщенного при температуре 40 °С раствора, содержащего воду массой 100 г, составляет

$$m_1 = m_1(\text{H}_2\text{O}) + m_1(\text{NaF}); m_1 = (100 + 4,5) \text{ г} = 104,5 \text{ г}.$$

При температуре 0 °С масса раствора, содержащего воду массой 100 г, равна

$$m_2 = m_2(\text{H}_2\text{O}) + m_2(\text{NaF}); m_2 = (100 + 4,1) \text{ г} = 104,1 \text{ г}.$$

Определяем массу осадка, образующегося при охлаждении раствора массой 104,5 г:

$$m(\text{осадка}) = m_1 - m_2; m(\text{осадка}) = (104,5 - 104,1) \text{ г} = 0,4 \text{ г}.$$

При увеличении массы исходного раствора масса выпавшего осадка пропорционально возрастает, т. е.

$$\frac{m_1}{m(\text{осадка})} = \frac{m_1'}{m'(\text{осадка})}.$$

Рассчитываем массу осадка, образующегося при охлаждении раствора массой 500 г:

$$m'(\text{осадка}) = \frac{m(\text{осадка}) m_1'}{m_1}; m'(\text{осадка}) = \frac{0,4 \cdot 500}{104,5} \text{ г} = 1,91 \text{ г}.$$

4.49. Коэффициент растворимости соли при температуре 50 °С равен 40 г, при температуре 10 °С — 15 г. Определите массу осадка, полученного при охлаждении насыщенного при температуре 50 °С раствора массой 70 г до температуры 10 °С. *Ответ:* 12,5 г.

4.50. Раствор с массовой долей нитрата серебра 0,82 является насыщенным при температуре 60 °С. При охлаждении этого ра-

створа массой 140 г до температуры 10 °С в осадок выпала соль массой 71,2 г. Определите коэффициент растворимости нитрата серебра при температуре 10 °С. *Ответ:* 173,0 г.

4.51. В воде массой 100 г растворяется при температуре 30 °С бромид аммония массой 81,8 г. При охлаждении насыщенного при температуре 30 °С раствора  $\text{NH}_4\text{Br}$  массой 300 г до температуры 0 °С выпадает в осадок соль массой 36,8 г. Определите, какая масса бромида аммония может быть растворена в воде массой 100 г при температуре 0 °С. *Ответ:* 59,5 г.

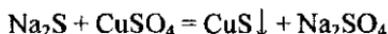
4.52. При нормальных условиях в воде массой 100 г растворяется хлороводород объемом 50,5 л. При температуре 50 °С и нормальном давлении коэффициент растворимости хлороводорода равен 59,6 г. Насыщенный при температуре 0 °С раствор  $\text{HCl}$  массой 40 г нагрели до температуры 50 °С. Определите массу полученного раствора. *Ответ:* 35,0 г.

### Химические реакции в растворах электролитов

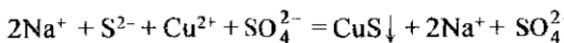
4.53. Составьте уравнения реакций, протекающих в водных растворах, в молекулярной, ионной и сокращенной ионной формах: 1) между сульфидом натрия и сульфатом меди (II); 2) между сульфатом железа (III) и гидроксидом натрия.

*Решение.* 1. Решение задачи разобьем на этапы:

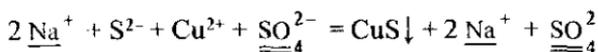
а) составляем уравнение реакции в молекулярной форме:



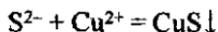
б) составляем уравнение реакции в ионной форме, изобразив формулы растворимых сильных электролитов в виде ионов, на которые они диссоциируют практически полностью, а формулы остальных веществ (например, выпадающих в осадок) оставим без изменения. При составлении ионного уравнения необходимо использовать таблицу растворимости солей и оснований в воде. В нашем примере получаем



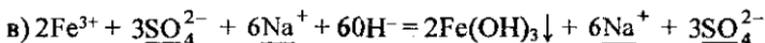
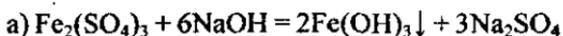
в) исключаем из правой и левой частей одинаковые количества одноименных ионов (они подчеркнуты):



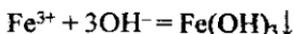
г) записываем уравнение в сокращенной ионной форме:



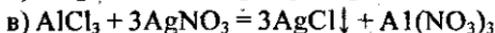
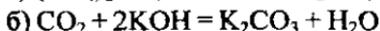
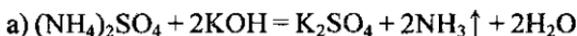
2. Действуем поэтапно, как и в предыдущем примере:



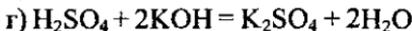
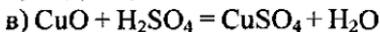
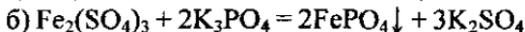
Разделив все коэффициенты в уравнении на 2, окончательно получаем



**4.54.** Составьте уравнения следующих реакций в ионной и сокращенной ионной формах:

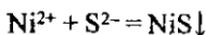


**4.55.** Напишите уравнения следующих реакций, протекающих в водных растворах, в ионной и сокращенной ионной формах:

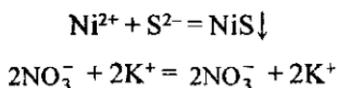


**4.56.** Составьте уравнения реакций, протекающих с участием водных растворов электролитов, в молекулярной, ионной и сокращенной ионной формах: а) между оксидом углерода (IV) и гидроксидом бария; б) между оксидом кальция и хлороводородной кислотой; в) между силикатом натрия и хлороводородной кислотой; г) между иодидом калия и нитратом свинца (II); д) между сульфидом железа (II) и серной кислотой.

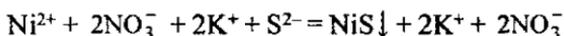
**4.57.** Составьте два различных уравнения в молекулярной форме, которые будут соответствовать уравнению в сокращенной ионной форме:



*Решение. 1.* Подписываем под символами ионов левой части уравнения такие ионы противоположного заряда, которые образовали бы с исходными ионами растворимые сильные электролиты. Затем такие же ионы записываем и под правой частью уравнения:



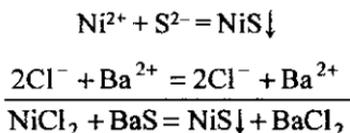
Суммируя оба равенства, получаем уравнение в ионной форме:



Объединив ионы в формулы соединений, записываем уравнение в молекулярной форме:



2. Подбрав другие подходящие ионы, получаем второе уравнение:



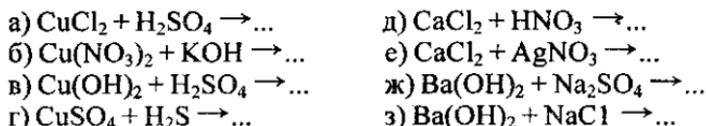
**4.58.** Составьте по два различных уравнения в молекулярной форме, которые соответствовали бы следующим уравнениям в сокращенной ионной форме:

- а)  $\text{H}^+ + \text{OH}^- = \text{H}_2\text{O}$
- б)  $\text{NH}_4^+ + \text{OH}^- = \text{NH}_3 \uparrow + \text{H}_2\text{O}$
- в)  $\text{Pb}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} = \text{PbSO}_4 \downarrow$

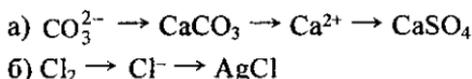
**4.59.** Напишите уравнения следующих реакций в молекулярной форме:

- а)  $\text{Ag}^+ + \text{I}^- = \text{AgI}$
- б)  $\text{CO}_3^{2-} + 2\text{H}^+ = \text{CO}_2 \uparrow + \text{H}_2\text{O}$
- в)  $\text{Co}^{2+} + 2\text{OH}^- = \text{Co}(\text{OH})_2 \downarrow$

**4.60.** Составьте уравнения тех реакций, которые протекают практически до конца, и запишите уравнения в сокращенной ионной форме:



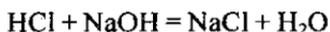
**4.61.** Напишите уравнения реакций в молекулярной и сокращенной ионной формах, при помощи которых можно осуществить следующие превращения:



### Расчеты по уравнениям реакций, протекающих в растворах

**4.62.** Какая масса раствора с массовой долей гидроксида натрия 4% потребуется для полной нейтрализации соляной кислоты массой 30 г с массовой долей HCl 5%?

*Решение.* Составляем уравнение реакции, протекающей в растворе:



Определяем массу и количество вещества хлороводорода, содержащегося в растворе соляной кислоты:

$$m(\text{HCl}) = mw(\text{HCl}); m(\text{HCl}) = 30 \cdot 0,05 \text{ г} = 1,5 \text{ г.}$$

$$n(\text{HCl}) = \frac{m(\text{HCl})}{M(\text{HCl})}; n(\text{HCl}) = \frac{1,5}{36,5} \text{ моль} = 0,0411 \text{ моль.}$$

Из уравнения реакции следует:

$$n(\text{NaOH}) = n(\text{HCl}); n(\text{NaOH}) = 0,0411 \text{ моль.}$$

0,0411 моль — количество вещества гидроксида натрия, которое потребуется для реакции.

Вычисляем массу требуемого гидроксида натрия:

$$m(\text{NaOH}) = n(\text{NaOH}) \cdot M(\text{NaOH}); m(\text{NaOH}) = 0,0411 \cdot 40 \text{ г} = 1,644 \text{ г.}$$

Определяем необходимую массу  $m'$  раствора гидроксида натрия с  $w(\text{NaOH}) = 0,04$  (4%):

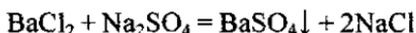
$$m' = \frac{m(\text{NaOH})}{w(\text{NaOH})}; m' = \frac{1,644}{0,04} \text{ г} = 41,1 \text{ г}.$$

4.63. Какой объем аммиака, измеренный при нормальных условиях, потребуется для полной нейтрализации раствора объемом 20 мл с массовой долей серной кислоты 3% и плотностью 1,02 г/мл? В результате реакции образуется сульфат аммония.  
*Ответ:* 280 мл.

4.64. Для реакции с раствором азотной кислоты массой 25 г, массовая доля растворенного вещества в котором составляет 6,3%, потребовался раствор гидроксида калия массой 40 г. Определите массовую долю щелочи в растворе. *Ответ:* 3,5%.

4.65. Определите массу осадка, который образуется при смешении раствора с массовой долей хлорида бария 5% и раствора с массовой долей сульфата натрия 8%. Масса раствора  $\text{BaCl}_2$  равна 15 г,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  — 10 г.

*Решение.* Записываем уравнение реакции:



Определяем массу и количество вещества растворенного хлорида бария:

$$m(\text{BaCl}_2) = m_1 w(\text{BaCl}_2); m(\text{BaCl}_2) = 15 \cdot 0,05 \text{ г} = 0,75 \text{ г};$$

$$n(\text{BaCl}_2) = \frac{m(\text{BaCl}_2)}{M(\text{BaCl}_2)}; n(\text{BaCl}_2) = \frac{0,75}{208} \text{ моль} = 3,6 \cdot 10^{-3} \text{ моль}.$$

Рассчитываем массу и количество вещества сульфата натрия в растворе:

$$m(\text{Na}_2\text{SO}_4) = m_2 w(\text{Na}_2\text{SO}_4); m(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 10 \cdot 0,08 \text{ г} = 0,8 \text{ г};$$

$$n(\text{Na}_2\text{SO}_4) = \frac{m(\text{Na}_2\text{SO}_4)}{M(\text{Na}_2\text{SO}_4)}; n(\text{Na}_2\text{SO}_4) = \frac{0,8}{142} \text{ моль} = 5,6 \cdot 10^{-3} \text{ моль}.$$

Из уравнения реакции следует, что для реакции с хлоридом бария количеством вещества  $3,6 \cdot 10^{-3}$  моль требуется сульфат натрия количеством вещества  $3,6 \cdot 10^{-3}$  моль. Следовательно, сульфат натрия взят в избытке.

Из уравнения реакции следует:

$$n(\text{BaSO}_4) = n(\text{BaCl}_2); n(\text{BaSO}_4) = 3,6 \cdot 10^{-3} \text{ моль.}$$

Определяем массу выпавшего осадка сульфата бария:

$$m(\text{BaSO}_4) = n(\text{BaSO}_4) \cdot M(\text{BaSO}_4); m(\text{BaSO}_4) = 3,6 \cdot 10^{-3} \cdot 223 \text{ г} = 0,84 \text{ г.}$$

**4.66.** Какой объем оксида углерода (IV) может быть получен при смешении раствора объемом 15 мл с массовой долей карбоната натрия 7% (плотность 1,07 г/мл) и раствора объемом 8 мл с массовой долей азотной кислоты 16% (плотность 1,09 г/мл)? Объем рассчитайте при нормальных условиях. *Ответ:* 0,24 л.

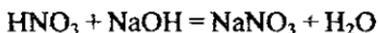
**4.67.** Какая масса осадка образуется, если пропускать оксид углерода (IV) объемом 280 мл (нормальные условия) через раствор с массовой долей гидроксида бария 0,12 массой 20 г? *Ответ:* 2,46 г.

**4.68.** Какую массу оксида серы (VI) надо растворить в воде массой 4 кг для получения раствора с массовой долей серной кислоты 4,9%? *Ответ:* 167 г.

**4.69.** Определите массовую долю соли, полученной при смешении раствора объемом 40 мл с массовой долей азотной кислоты 0,2 и плотностью 1,12 г/мл с раствором объемом 36 мл с массовой долей гидроксида натрия 0,15 и плотностью 1,17 г/мл.

*Решение.* Введем обозначения:  $m_1$  — масса;  $V_1$  — объем;  $\rho_1$  — плотность раствора азотной кислоты;  $m_2$  — масса,  $V_2$  — объем,  $\rho_2$  — плотность раствора гидроксида натрия;  $m_3$  — масса полученного раствора.

Записываем уравнение реакции:



Определяем массу и количество вещества  $\text{HNO}_3$  в растворе:

$$m_1 = V_1 \rho_1; m_1 = 40 \cdot 1,12 \text{ г} = 44,8 \text{ г};$$

$$m(\text{HNO}_3) = m_1 w(\text{HNO}_3); m(\text{HNO}_3) = 44,8 \cdot 0,2 \text{ г} = 8,96 \text{ г};$$

$$n(\text{HNO}_3) = \frac{m(\text{HNO}_3)}{M(\text{HNO}_3)}; n(\text{HNO}_3) = \frac{8,96}{63} \text{ моль} = 0,142 \text{ моль.}$$

Аналогично находим массу и количество гидроксида натрия в растворе:

$$m_2 = V_2 \rho_2; m_2 = 36 \cdot 1,17 \text{ г} = 42,1 \text{ г};$$

$$m(\text{NaOH}) = m_2 w(\text{NaOH}); m(\text{NaOH}) = 42,1 \cdot 0,15 \text{ г} = 6,32 \text{ г};$$

$$n(\text{NaOH}) = \frac{m(\text{NaOH})}{M(\text{NaOH})}; n(\text{NaOH}) = \frac{6,32}{40} \text{ моль} = 0,158 \text{ моль.}$$

Из уравнения реакции следует, что с азотной кислотой количеством вещества 0,142 моль будет реагировать гидроксид натрия количеством вещества 0,142 моль, следовательно, NaOH взят в избытке.

Из уравнения реакции следует:

$$n(\text{NaNO}_3) = n(\text{HNO}_3); n(\text{NaNO}_3) = 0,142 \text{ моль.}$$

Определяем массу образующейся соли:

$$m(\text{NaNO}_3) = n(\text{NaNO}_3) \cdot M(\text{NaNO}_3); m(\text{NaNO}_3) = 0,142 \cdot 85 \text{ г} = 12,1 \text{ г.}$$

Масса полученного раствора составляет:

$$m_3 = m_1 + m_2; m_3 = (44,8 + 42,1) \text{ г} = 86,9 \text{ г.}$$

Определяем массовую долю соли в полученном растворе:

$$w(\text{NaNO}_3) = \frac{m(\text{NaNO}_3)}{m_3}; w(\text{NaNO}_3) = \frac{12,1}{86,9} = 0,139, \text{ или } 13,9\%.$$

**4.70.** Определите массовую долю гидроксида бария в растворе, полученном при смешении воды массой 50 г и оксида бария массой 1,2 г. *Ответ:* 2,62%.

**4.71.** Какая масса цинка может прореагировать с соляной кислотой объемом 50 мл и плотностью 1,1 г/мл, массовая доля HCl в котором составляет 0,2? Какой объем водорода, измеренный при нормальных условиях, выделится при этом? *Ответ:* 9,8 г; 3,4 л.

**4.72.** Какое количество вещества хлорида серебра может быть получено при смешении раствора объемом 120 мл с массовой долей HCl 10% и плотностью 1,05 г/мл с раствором 0,5M AgNO<sub>3</sub> объемом 200 мл? *Ответ:* 0,1 моль.

**4.73.** Определите объем раствора 1,2M NaOH, который требуется для полного осаждения железа в виде гидроксида из раствора массой 300 г с массовой долей хлорида железа (III) 12%. *Ответ:* 554 мл.

**4.74.** Какой объем раствора 1,6M HCl необходим для нейтрализации кристаллической соды Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> · 10H<sub>2</sub>O массой 57,2 г? *Ответ:* 250 мл.

## 5. ВАЖНЕЙШИЕ КЛАССЫ НЕОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

### Номенклатура неорганических веществ

**5.1.** Назовите по систематической номенклатуре следующие вещества:  $O_2$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $Ca(OH)_2$ ,  $H_2SO_4$ ,  $CuCl_2$ ,  $Al(NO_3)_3$ ,  $Ba_3(PO_4)_2$ .

*Решение.* Название вещества по систематической номенклатуре должно полностью отражать его состав, например:  $O_2$  — диоксигород (традиционное название — молекулярный кислород);  $Fe_2O_3$  — триоксид дижелеза, или оксид железа (III). Названия остальных веществ:

формула вещества	систематическое название	допустимое традиционное название
$H_2SO_4$	тетраоксосульфат (VI) водорода	серная кислота
$Ca(OH)_2$	гидроксид железа	—
$CuCl_2$	дихлорид меди или хлорид меди (II)	—
$Al(NO_3)_3$	триоксонитрат (V) алюминия	нитрат алюминия
$Ba_3(PO_4)_2$	тетраоксофосфат (V) бария	фосфат бария

**5.2.** Приведите систематические названия следующих оксидов:  $MnO$ ,  $MnO_2$ ,  $Mn_2O_7$ .

*Решение.*  $MnO$  — оксид марганца (II);  $MnO_2$  — диоксид марганца, или оксид марганца (IV);  $Mn_2O_7$  — гептаоксид димарганца, или оксид марганца (VII).

**5.3.** Используя систематическую номенклатуру, назовите следующие вещества:  $H_2$ ,  $P_4$ ,  $NO_2$ ,  $N_2O_4$ ,  $K_2O$ ,  $K_2O_2$ ,  $KO_2$ ,  $KO_3$ .

**5.4.** Назовите следующие соли по систематической номенклатуре:  $AgBr$ ,  $KClO$ ,  $KMnO_4$ ,  $KAl(SO_4)_2$ ,  $NaHSO_4$ ,  $Al(OH)_2Cl$ .

*Решение.*

формула вещества	систематическое название	допустимое традиционное название
$AgBr$	бромид серебра (I)	—
$KClO$	оксохлорат (I) калия	гипохлорит калия
$KMnO_4$	тетраоксоманганат (VII) калия	перманат калия
$KAl(SO_4)_2$	тетраоксосульфат (VI) алюминия-калия	—
$NaHSO_4$	тетраоксосульфат (VI) водорода-натрия	гидросульфат натрия
$Al(OH)_2Cl$	дигидроксид-хлорид алюминия	дигидрооксохлорид алюминия

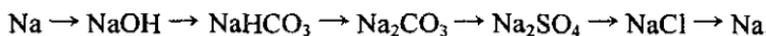
5.5. Назовите по систематической номенклатуре следующие соединения:  $\text{NaOH}$ ,  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ,  $\text{H}_2\text{TeO}_4$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_3$ ,  $\text{HNO}_2$ .

5.6. Используя систематическую номенклатуру, назовите следующие соли:  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{AlBr}_3$ ,  $\text{KHCO}_3$ ,  $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$ ,  $\text{Sn}(\text{OH})\text{Cl}$ ,  $\text{Ba}(\text{HS})_2$ .

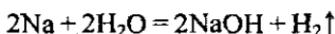
5.7. Напишите формулы следующих веществ: а) октасеры; б) дихлорида диртути; в) триоксобората (III) лития; г) триоксоселената (IV) водорода; д) гидроксида сурьмы (III).

### Получение и химические свойства оксидов, оснований, кислот и солей

5.8. Напишите уравнения реакций, при помощи которых можно осуществить следующие превращения:



*Решение.* 1. Натрий взаимодействует с водой, образуя гидроксид натрия:



2. При пропускании избытка оксида углерода (IV) через раствор гидроксида натрия можно получить гидрокарбонат натрия:



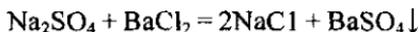
3. Карбонат натрия получается при нагревании гидрокарбоната натрия:



4. Сульфат натрия можно получить, действуя серной кислотой на карбонат натрия:



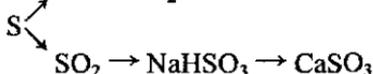
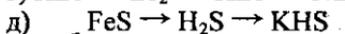
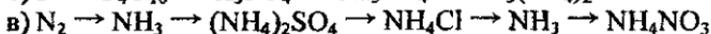
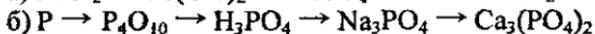
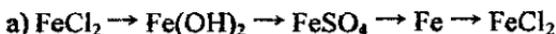
5. Приливая раствор хлорида бария к раствору сульфата натрия, можно получить раствор хлорида натрия:



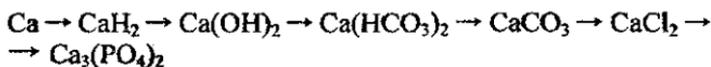
6. Чтобы получить металлический натрий, надо выделить хлорид натрия из раствора и провести электролиз расплава  $\text{NaCl}$ . На катоде будет выделяться металл:



**5.9.** Напишите уравнения реакций, при помощи которых можно осуществить следующие превращения:

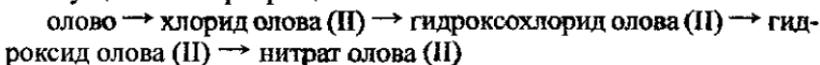


**5.10.** Напишите уравнения реакций, при помощи которых можно осуществить следующие превращения:



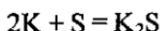
Уравнения реакций, протекающих в растворах, изобразите в ионной и сокращенной ионной формах.

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

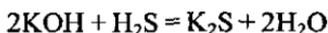


**5.12.** Напишите уравнения не менее трех реакций, при помощи которых можно получить сульфид калия.

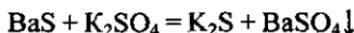
*Решение.* 1. Сульфид калия образуется при взаимодействии простых веществ — калия и серы:



2. При взаимодействии гидроксида калия и сероводорода также может быть получен сульфид калия:



3. Сульфид калия образуется при взаимодействии раствора сульфида бария с сульфатом калия:



**5.13.** Напишите уравнения не менее четырех реакций, при помощи которых можно получить карбонат кальция. Реакции, протекающие в растворах, изобразите в ионной и сокращенной ионной формах.

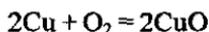
**5.14.** Составьте уравнения четырех реакций, в результате которых образуется бромид натрия.

**5.15.** Напишите уравнения реакций, при помощи которых можно осуществить следующие превращения:

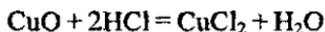


Назовите вещества X и Y.

*Решение.* 1. Используя металлическую медь, надо получить вещество X, из которого можно получить хлорид меди (II). Наиболее простой способ — окисление меди до оксида меди (II):



который, взаимодействуя с соляной кислотой, образует хлорид меди (II):



Возможен и другой способ. Медь растворяется в концентрированной серной кислоте:

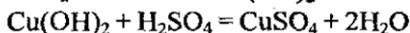
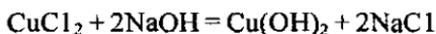


Если к полученному раствору прилить раствор хлорида бария, то образуется хлорид меди (II):



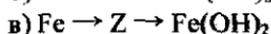
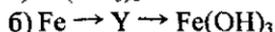
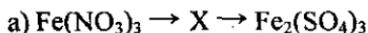
Таким образом, вещество X — это оксид меди (II) или сульфат меди (II).

2. Наиболее простой способ перехода от хлорида меди (II) к сульфату меди (II) через промежуточное соединение Y — осаждение гидроксида меди (II) с последующим растворением его в серной кислоте:



Таким образом, соединение Y — гидроксид меди (II).

**5.16.** Напишите уравнения реакций, при помощи которых можно осуществить следующие превращения:



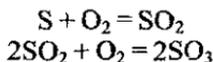
*Ответ:* а) X — гидроксид железа (III); б) Y — хлорид железа (III); в) Z — хлорид или сульфат железа (II).

5.17. Напишите уравнения реакций, при помощи которых исходя из четырех простых веществ — калия, серы, кислорода и водорода — можно получить три средние соли, три кислоты и три кислые соли.

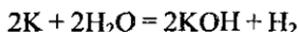
*Решение.* Из кислорода и водорода можно получить воду:



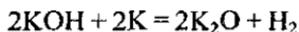
Из серы и кислорода можно получить оксид серы (IV), дальнейшим окислением которого — оксид серы (VI):



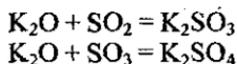
Калий, взаимодействуя с водой, образует гидроксид:



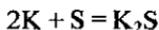
Гидроксид калия можно восстановить металлическим калием до оксида\*:



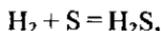
Основной оксид калия с кислотными оксидами серы (IV) и серы (VI) образует, соответственно, сульфит и сульфат калия (две средние соли):



Еще одна средняя соль (сульфид калия) может быть получена при непосредственном взаимодействии калия и серы:

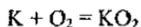


Водород с серой образует сероводород:



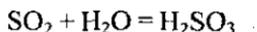
раствор которого в воде называется сероводородной кислотой.

\* При непосредственном взаимодействии калия с кислородом оксид не образуется:



$\text{KO}_2$  — надпероксид калия, к оксидам он не относится.

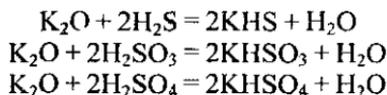
Оксид серы (IV) взаимодействует с водой, образуя гидрат, который называется сернистой кислотой:



При взаимодействии оксида серы (VI) с водой образуется серная кислота:



Наконец, три кислые соли можно получить, если осуществить реакции между оксидом калия и тремя полученными кислотами, взяв их в избытке:



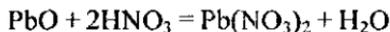
**5.18.** Как, используя простые вещества — кальций, фосфор и кислород, можно получить фосфат кальция? Напишите уравнения соответствующих реакций.

**5.19.** Напишите уравнения реакций, при помощи которых можно получить шесть средних солей, используя сульфид железа (II), кислород, раствор гидроксида натрия и разбавленные растворы соляной и серной кислот.

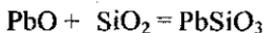
**5.20.** Напишите уравнения реакций, которые показывают амфотерный характер оксида свинца (II).

*Решение.* Для доказательства амфотерного характера оксида или гидроксида необходимо привести уравнения реакций, в которых эти соединения проявляют основные и кислотные свойства.

1. Оксид свинца (II) взаимодействует с растворами кислот, например:

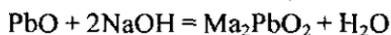


Эта реакция показывает, что оксид свинца (II) проявляет основные свойства. Для характеристики основных свойств можно также привести примеры других реакций оксида свинца с веществами кислотного характера, например:

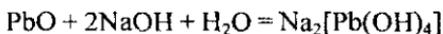


кислотный  
оксид

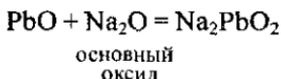
2. Оксид свинца (II) взаимодействует со щелочами в расплаве:



или в концентрированном водном растворе:



Эта реакция показывает проявление оксидом свинца (II) кислотных свойств. То же можно продемонстрировать реакцией с основным оксидом, например:



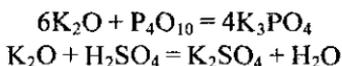
**5.21.** Приведите примеры реакций, которые доказывают основной характер веществ  $\text{BaO}$  и  $\text{Ba}(\text{OH})_2$ .

**5.22.** Напишите уравнения реакций, которые доказывают амфотерный характер гидроксида хрома (III).

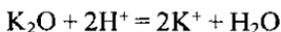
**5.23.** Напишите уравнения всех возможных реакций между следующими веществами, взятыми попарно: оксид калия, оксид фосфора (V), гидроксид бария, серная кислота, иодид калия, нитрат свинца (II). Уравнения реакций, протекающих в растворах, изобразите в сокращенной ионной форме.

*Решение.* Определяем, к каким классам относятся соединения:  $\text{K}_2\text{O}$  — основной оксид,  $\text{P}_4\text{O}_{10}$  — кислотный оксид,  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  — основание (щелочь),  $\text{H}_2\text{SO}_4$  — кислота,  $\text{KI}$  и  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  — соли.

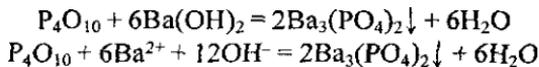
Основной оксид  $\text{K}_2\text{O}$  будет взаимодействовать с кислотным оксидом и кислотой:



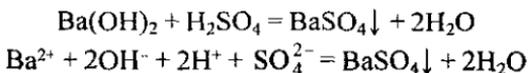
или



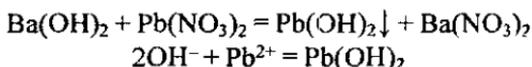
Кислотный оксид  $\text{P}_4\text{O}_{10}$  взаимодействует также с гидроксидом бария:



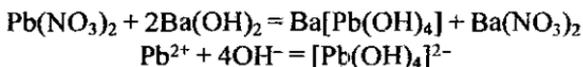
Гидроксид бария реагирует с серной кислотой:



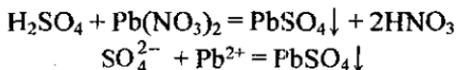
и с нитратом свинца (II):



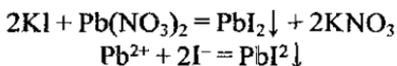
В избытке гидроксида бария реакция идет так:



Возможны также реакции между серной кислотой и нитратом свинца (II):



и между иодидом калия и нитратом свинца (II):

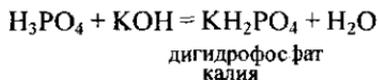
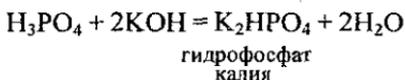


**5.24.** С какими из указанных ниже веществ может взаимодействовать раствор гидроксида калия: иодоводородная кислота, хлорид меди (II), хлорид бария, оксид углерода (IV), оксид свинца (II)? Напишите уравнения реакций в молекулярной, ионной и сокращенной ионной формах.

**5.25.** Напишите уравнения всех возможных реакций между следующими веществами, взятыми попарно: оксид магния, хлороводородная кислота, сульфит натрия, хлорид кальция, нитрат серебра.

**5.26.** Какими способами можно получить гидрофосфат калия и дигидрофосфат калия? Напишите уравнения соответствующих реакций.

*Решение.* Гидрофосфат калия и дигидрофосфат калия могут быть получены при взаимодействии фосфорной кислоты с гидроксидом калия:

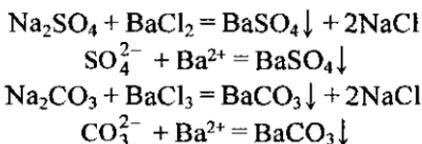


При этом в первом случае на 1 моль фосфорной кислоты необходимо взять 2 моль гидроксида калия, во втором — 1 моль гидроксида калия.

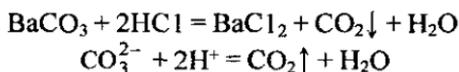
5.27. Напишите уравнения реакций, при помощи которых можно получить гидроксохлорид меди (II), гидросульфид калия, гидрокарбонат кальция.

5.28. В четырех пробирках без надписей находятся растворы следующих веществ: сульфата натрия, карбоната натрия, нитрата натрия и иодида натрия. С помощью каких реагентов можно определить, где какая соль находится? Напишите уравнения реакций в молекулярной и сокращенной ионной формах.

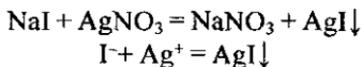
*Решение.* К пробе каждого раствора надо добавить раствор хлорида бария, с которым взаимодействуют растворы, содержащие  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  и  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ :



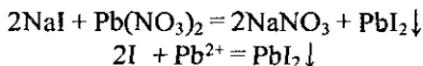
Чтобы различить эти два раствора, необходимо к полученным осадкам добавить раствор соляной кислоты — будет растворяться только карбонат бария (при этом происходит выделение газа):



Чтобы различить растворы  $\text{NaNO}_3$  и  $\text{NaI}$ , не образовавшие осадка с  $\text{BaCl}_2$ , надо прибавить к ним раствор нитрата серебра или нитрата свинца (II) — осадки образуются только в случае раствора иодида натрия:



или



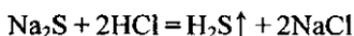
5.29. С помощью каких реагентов можно различить растворы серной, азотной и соляной кислот, находящихся в трех пробирках.

Напишите уравнения соответствующих реакций в молекулярной и ионной формах. *Ответ:* использовать  $\text{BaCl}_2$  и  $\text{AgNO}_3$ .

**5.30.** В трех пробирках находятся следующие сухие вещества: оксид кальция, оксид алюминия, оксид фосфора. При помощи каких реагентов можно различить эти вещества? Напишите уравнения реакций. *Ответ:* использовать раствор соляной (или азотной) кислоты и раствор щелочи.

**5.31.** Как при помощи одного реагента определить, в какой из склянок находятся сухие соли: хлорид натрия, карбонат натрия, сульфид натрия? Напишите уравнения соответствующих реакций.

*Решение.* На пробу сухой соли из каждой склянки надо подействовать кислотой, например соляной. Сульфид натрия будет взаимодействовать с выделением сероводорода — газа с характерным неприятным запахом:



Карбонат натрия будет взаимодействовать с кислотой с выделением оксида углерода (IV) — газа без запаха:



Хлорид натрия не будет реагировать с соляной кислотой.

**5.32.** При помощи какого одного реагента можно распознать растворы трех веществ: хлорида калия, хлорида алюминия и хлорида магния? *Ответ:* использовать раствор щелочи.

### Расчетные задачи

**5.33.** Определите массовую долю бора в оксиде бора (III).

*Решение.* Простейшая формула оксида бора (III)  $\text{B}_2\text{O}_3$ . Выбираем для расчетов образец оксида количеством вещества 1 моль, т. е.  $n(\text{B}_2\text{O}_3) = 1$  моль. Определяем массу образца оксида:

$$m(\text{B}_2\text{O}_3) = n(\text{B}_2\text{O}_3) \cdot M(\text{B}_2\text{O}_3); m(\text{B}_2\text{O}_3) = 1 \text{ моль} \cdot 70 \text{ г/моль} = 70 \text{ г.}$$

Из формулы оксида следует:

$$n(\text{B}) = 2n(\text{B}_2\text{O}_3); n(\text{B}) = 2 \cdot 1 \text{ моль} = 2 \text{ моль.}$$

Находим массу бора:

$$m(\text{B}) = n(\text{B}) \cdot M(\text{B}); m(\text{B}) = 2 \cdot 11 \text{ г} = 22 \text{ г.}$$

Определяем массовую долю бора в оксиде:

$$w(\text{B}) = \frac{m(\text{B})}{m(\text{B}_2\text{O}_3)}; w(\text{B}) = \frac{22}{70} = 0,314, \text{ или } 31,4\%.$$

**5.34.** Определите массовую долю кислорода в гидроксиде кальция и карбонате кальция. *Ответ:* 43,2% в  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  и 48,0% в  $\text{CaCO}_3$ .

**5.35.** Определите формулу гидроксида железа, если известны массовые доли составляющих его элементов: 62,2% железа, 35,6% кислорода, 2,2% водорода.

*Решение.* Выбираем для расчетов образец гидроксида железа массой 100 г, т. е.  $m(\text{гидроксида}) = 100$  г. Определяем массы атомных железа, кислорода и водорода:

$$m(\text{Fe}) = m(\text{гидроксида}) \cdot w(\text{Fe}); m(\text{Fe}) = 100 \cdot 0,622 \text{ г} = 62,2 \text{ г};$$

$$m(\text{O}) = m(\text{гидроксида}) \cdot w(\text{O}); m(\text{O}) = 100 \cdot 0,356 \text{ г} = 35,6 \text{ г};$$

$$m(\text{H}) = m(\text{гидроксида}) \cdot w(\text{H}); m(\text{H}) = 100 \cdot 0,022 \text{ г} = 2,2 \text{ г}.$$

Определяем количество вещества атомных железа, кислорода и водорода:

$$n(\text{Fe}) = \frac{m(\text{Fe})}{M(\text{Fe})}; n(\text{Fe}) = \frac{62,2}{56} \text{ моль} = 1,1 \text{ моль};$$

$$n(\text{O}) = \frac{m(\text{O})}{M(\text{O})}; n(\text{O}) = \frac{35,6}{16} \text{ моль} = 2,2 \text{ моль};$$

$$n(\text{H}) = \frac{m(\text{H})}{M(\text{H})}; n(\text{H}) = \frac{2,2}{1} \text{ моль} = 2,2 \text{ моль}.$$

Таким образом,

$$n(\text{Fe}) : n(\text{O}) : n(\text{H}) = 1,1 : 2,2 : 2,2,$$

или, разделив все члены в правой части равенства на 1,1, получаем

$$n(\text{Fe}) : n(\text{O}) : n(\text{H}) = 1 : 2 : 2.$$

Следовательно, формула гидроксида  $\text{Fe}(\text{OH})_2$ .

**5.36.** Массовые доли олова и хлора в хлориде олова равны соответственно 62,6 и 37,4%. Определите простейшую формулу хлорида. *Ответ:*  $\text{SnCl}_2$ .

**5.37.** Массовые доли водорода, фосфора и кислорода в некоторой кислоте равны соответственно 3,66, 37,80 и 58,54%. Определите простейшую формулу этой кислоты. *Ответ:*  $\text{H}_3\text{PO}_4$ .

**5.38.** Массовая доля воды в кристаллогидрате сульфата никеля (II) равна 44,8%. Какое количество вещества воды содержит 1 моль кристаллогидрата. *Ответ:* 7 моль.

**5.39.** Какой минимальный объем оксида углерода (IV) необходимо пропустить при нормальных условиях через раствор массой 80 г с массовой долей гидроксида бария 5% для получения гидрокарбоната бария?

*Решение.* Записываем уравнение реакции между гидроксидом бария и избытком оксида углерода (IV):



Определяем массу гидроксида бария, содержащегося в растворе:

$$m(\text{Ba}(\text{OH})_2) = mw(\text{Ba}(\text{OH})_2); m(\text{Ba}(\text{OH})_2) = 80 \cdot 0,05 \text{ г} = 4 \text{ г.}$$

Количество вещества гидроксида бария составляет:

$$n(\text{Ba}(\text{OH})_2) = \frac{m(\text{Ba}(\text{OH})_2)}{M(\text{Ba}(\text{OH})_2)}; n(\text{Ba}(\text{OH})_2) = \frac{4}{171} \text{ моль} = 0,0234 \text{ моль.}$$

Из уравнения реакции следует:

$$\frac{n(\text{CO}_2)}{n(\text{Ba}(\text{OH})_2)} = \frac{2}{1};$$

$$n(\text{CO}_2) = 2n(\text{Ba}(\text{OH})_2); n(\text{CO}_2) = 2 \cdot 0,0234 \text{ моль} = 0,0468 \text{ моль.}$$

Определяем объем газа при нормальных условиях:

$$V(\text{CO}_2) = n(\text{CO}_2) \cdot V_m; V(\text{CO}_2) = 0,0468 \cdot 22,4 \text{ л} = 1,05 \text{ л.}$$

**5.40.** При пропускании оксида углерода (IV) через раствор гидроксида кальция получили гидрокарбонат кальция массой 8,1 г. Определите объем оксида углерода (IV), измеренный при нормальных условиях, который был пропущен через раствор. *Ответ:* 2,24 л.

**5.41.** К раствору массой 200 г с массовой долей серной кислоты 8% прилили раствор массой 50 г с массовой долей гидроксида натрия 12%. Какова масса гидросульфата натрия, который выделили из полученного раствора? *Ответ:* 18 г.

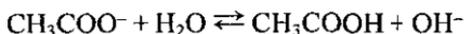
5.42. При разложении соли массой 4,9 г образовались кислород объемом 1,344 л и хлорид калия (нормальные условия). Определите простейшую формулу исходного соединения. *Ответ:*  $\text{KClO}_3$ .

5.43. Оксид натрия массой 12,4 г растворили в воде. Какой объем оксида углерода (IV), измеренный при нормальных условиях, потребуется для нейтрализации полученного гидроксида натрия, если нужно получить кислую соль? *Ответ:* 8,96 л.

### Гидролиз солей

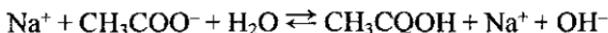
5.44. Составьте уравнение реакции гидролиза ацетата натрия в сокращенной ионной, ионной и молекулярной формах. Укажите реакцию среды в растворе этой соли.

*Решение.* 1. Ацетат натрия  $\text{CH}_3\text{COONa}$  — соль, образованная сильным основанием  $\text{NaOH}$  и слабой кислотой  $\text{CH}_3\text{COOH}$ . В этом случае слабый электролит образуется при взаимодействии анионов слабой кислоты с водой:

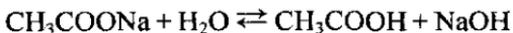


Это уравнение реакции в сокращенной ионной форме. Из него видно, что в растворе накапливаются гидроксид-ионы, обуславливающие щелочную среду.

2. Дописывая к левой и правой частям уравнения формулы ионов натрия, получаем уравнение реакции в ионной форме:



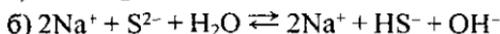
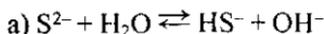
3. Уравнение реакции в молекулярной форме:



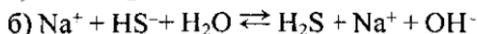
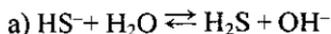
5.45. Составьте уравнение реакции гидролиза сульфида калия в сокращенной ионной, ионной и молекулярной формах. Укажите реакцию среды в растворе соли.

*Решение.* Сульфид калия  $\text{K}_2\text{S}$  — соль, образованная сильным основанием  $\text{KOH}$  и слабой двухосновной кислотой  $\text{H}_2\text{S}$ . Если слабый электролит, образующий соль, подвергается ступенчатой диссоциации, то и гидролиз идет ступенчато. В данном примере — две степени гидролиза. С водой взаимодействуют ионы слабой кислоты — сульфид- и гидросульфид-ионы.

## I ступень



## II ступень



В результате гидролиза в растворе увеличивается содержание гидроксид-ионов, следовательно, реакция среды щелочная.

**5.46.** Составьте уравнения реакций гидролиза следующих солей в сокращенной ионной, ионной и молекулярной формах: а)  $NaNO_2$ ; б)  $NaHCO_3$ ; в)  $K_2CO_3$ ; г)  $K_2HPO_4$ ; д)  $K_3PO_4$ . Укажите реакцию среды в растворах этих солей.

**5.47.** Напишите уравнение реакции гидролиза нитрата аммония в сокращенной ионной, ионной и молекулярной формах. Укажите реакцию среды в растворе этой соли.

*Решение.* 1. Нитрат аммония  $NH_4NO_3$  — соль, образованная слабым основанием  $NH_4OH^*$  и сильной азотной кислотой  $HNO_3$ . Катион слабого основания  $NH_4^+$  может связываться с гидроксид-ионами воды, образуя слабый электролит — гидроксид аммония:



В растворе образуется избыток ионов водорода, следовательно, среда кислая.

2. Дописывая к левой и правой частям уравнения формулы нитрат-ионов, получаем уравнение реакции в ионной форме:



3. Уравнение реакции в молекулярной форме:

---

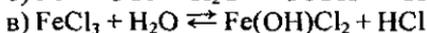
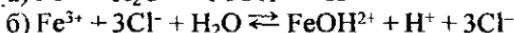
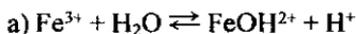
\*  $NH_4OH$  здесь и далее будем относить к слабым основаниям, вкладывая в это следующий смысл: концентрация ионов  $OH^-$  в водном растворе аммиака невелика. Часто формулу этого вещества изображают в виде гидрата  $NH_3 \cdot H_2O$  или  $NH_3 \cdot n H_2O$ , так как частицы  $NH_4OH$  не обнаружены в растворах.



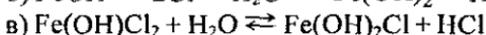
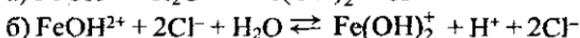
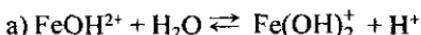
5.48. Составьте уравнение реакции гидролиза хлорида железа (III) в сокращенной ионной, ионной и молекулярной формах. Укажите реакцию среды в растворе этой соли.

*Решение.* Хлорид железа (III)  $\text{FeCl}_3$  — соль, образованная сильной хлороводородной кислотой  $\text{HCl}$  и слабым трехкислотным основанием  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ . В этом случае гидролиз протекает в три ступени. С гидроксид-ионами воды взаимодействуют катионы слабого основания:

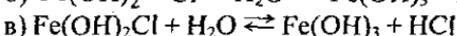
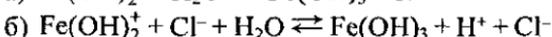
I ступень



II ступень



III ступень



В растворе образуется избыток ионов водорода, т. е. реакция среды кислая.

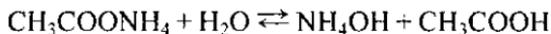
5.49. Напишите уравнения реакций гидролиза следующих солей в сокращенной ионной, ионной и молекулярной формах: а)  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ; б)  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ; в)  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ ; г)  $\text{Al}(\text{OH})\text{Cl}_2$ ; д)  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ . Укажите реакцию среды в растворах этих солей.

5.50. Составьте уравнения реакций гидролиза солей: 1) ацетата аммония; 2) хлорида натрия.

*Решение.* 1. Ацетат аммония  $\text{CH}_3\text{COONH}_4$  — соль, образованная слабым основанием  $\text{NH}_4\text{OH}$  и слабой кислотой  $\text{CH}_3\text{COOH}$ . При этом слабые электролиты образуют как катион слабого основания, так и анион слабой кислоты:



Уравнение реакции в молекулярной форме:



2. Хлорид натрия  $\text{NaCl}$  — соль, образованная сильным основанием  $\text{NaOH}$  и сильной кислотой  $\text{HCl}$ . Такие соли гидролизу не подвергаются, так как слабые электролиты не образуются\*

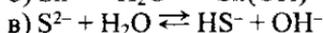
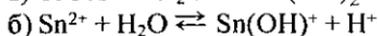
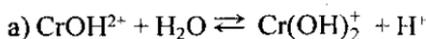
**5.51.** Составьте уравнения реакций необратимого гидролиза солей\*\*:

$$\text{Al}(\text{CH}_3\text{COO})_3 \text{ и } \text{Cr}_2(\text{CO}_3)_3.$$

**5.52.** Укажите, какие из приведенных ниже солей подвергаются гидролизу: а)  $\text{BaCl}_2$ ; б)  $\text{ZnCl}_2$ ; в)  $\text{NaNO}_3$ ; г)  $\text{NH}_4\text{NO}_2$ ; д)  $\text{KHSO}_4$ . Напишите уравнения реакций гидролиза в сокращенной ионной, ионной и молекулярной формах. *Ответ:* б)  $\text{ZnCl}_2$ ; г)  $\text{NH}_4\text{NO}_2$ .

**5.53.** Напишите уравнения гидролиза следующих солей в сокращенной ионной, ионной и молекулярной формах. а)  $\text{NaF}$ ; б)  $\text{KHS}$ ; в)  $\text{K}_2\text{SO}_3$ ; г)  $\text{FeSO}_4$ ; д)  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ . Укажите реакцию среды в растворах этих солей.

**5.54.** Имеются уравнения реакций гидролиза в сокращенной ионной форме:



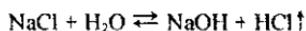
Изобразите уравнения реакций в молекулярной форме.

**5.55.** Объясните, почему водные растворы нитрита натрия и карбоната лития имеют щелочную реакцию. Ответ подтвердите уравнениями реакций в ионной и молекулярной формах.

**5.56.** Почему при добавлении воды к концентрированному водному раствору хлорида олова (II) выпадает в осадок основная соль, а при добавлении раствора соляной кислоты выпадения осадка не происходит?

**5.57.** Запишите формулы солей в порядке увеличения склонности их к гидролизу: фторид натрия, хлорид натрия, фторид аммония. Ответ поясните. Приведите уравнения гидролиза солей.

\* При высокой температуре гидролизу могут подвергаться и соли этого типа. Так, в случае хлорида натрия будет происходить выделение газообразного хлороводорода:

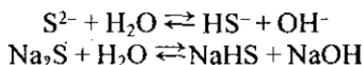


\*\* При необратимом гидролизе не следует разбивать уравнение реакции на степени.

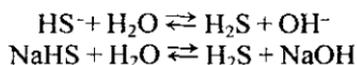
5.58. Какие процессы будут происходить при смешении водных растворов сульфида натрия и хлорида алюминия? Составьте уравнение реакции.

*Решение.* Сульфид натрия в растворе подвергается гидролизу. Записываем уравнения в сокращенной ионной и молекулярной формах:

I ступень



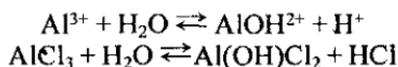
II ступень



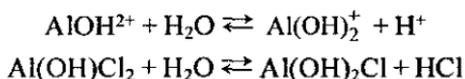
Реакция среды в растворе — щелочная. Добавление в раствор ионов водорода смещает равновесие гидролиза в сторону образования продуктов гидролиза.

Уравнения гидролиза хлорида алюминия:

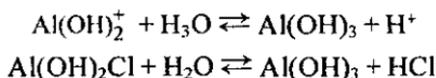
I ступень



II ступень



III ступень



Равновесие в этой системе будет смещаться в сторону продуктов гидролиза при добавлении гидроксид-ионов.

При смешении двух растворов они будут взаимно способствовать смещению равновесия в обеих реакциях гидролиза в сторону продуктов: гидроксид-ионы и ионы водорода связываются в слабый электролит — воду. Окончательное уравнение реакции:



**5.59.** Напишите уравнение реакции, которая будет протекать при смешении водных растворов сульфата железа (III) и карбоната калия, учитывая, что одним из продуктов реакции является гидроксид железа (III). Почему в результате реакции не образуется карбонат железа (III)?

**5.60.** Почему при смешении растворов сульфата алюминия и силиката натрия выпадает в осадок гидроксид алюминия? Напишите уравнение процесса.

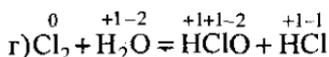
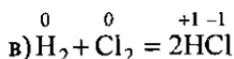
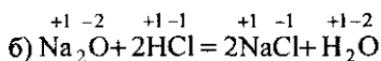
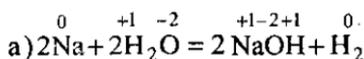
## 6. ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЕ РЕАКЦИИ

### Окислители и восстановители

**6.1.** Какие из реакций, уравнения которых приведены ниже, являются окислительно-восстановительными:

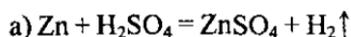
- а)  $2\text{Na} + 2\text{H}_2\text{O} = 2\text{NaOH} + \text{H}_2$   
 б)  $\text{Na}_2\text{O} + 2\text{HCl} = 2\text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$   
 в)  $\text{H}_2 + \text{Cl}_2 = 2\text{HCl}$   
 г)  $\text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{HClO} + \text{HCl}$

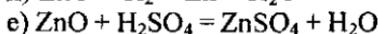
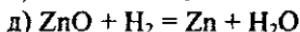
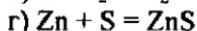
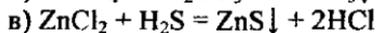
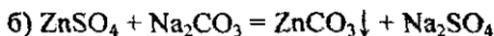
*Решение.* Определяем, в каких из приведенных уравнений реакций происходит изменение степеней окисления атомов:



Изменение степеней окисления атомов имеет место в реакциях а, в и г, следовательно, они являются окислительно-восстановительными.

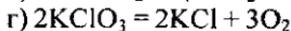
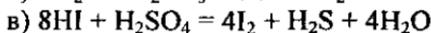
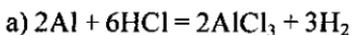
**6.2.** Определите на основе приведенных ниже уравнений, какие реакции являются окислительно-восстановительными:



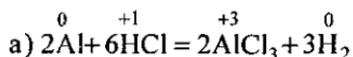


Ответ: а, г, д.

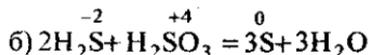
6.3. Укажите восстановитель и окислитель в реакциях:



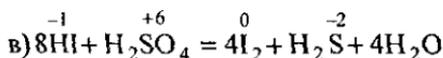
Решение. Восстановитель в ходе окислительно-восстановительных реакций отдает электроны, повышая свою степень окисления. Окислитель — принимает электроны, понижая степень окисления. Поэтому необходимо определить, какие атомы в указанных уравнениях меняют степени окисления:



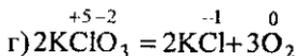
В этой реакции Al — восстановитель, HCl (точнее ион  $\text{H}^+$ ) — окислитель.



Здесь  $\text{H}_2\text{S}$  (S) — восстановитель,  $\text{H}_2\text{SO}_3$  (ион  $\text{SO}_3^{2-}$  или S) — окислитель.



HI (иодид-ион I<sup>-</sup>) — восстановитель,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (сульфат-ион  $\text{SO}_4^{2-}$  или S) — окислитель.



Это реакция внутримолекулярного окисления — восстановления.

Здесь восстановитель O и окислитель Cl входят в состав одного вещества.

**6.4.** Укажите восстановитель и окислитель в следующих уравнениях окислительно-восстановительных реакций:

- а)  $\text{Zn} + \text{CuSO}_4 = \text{Cu} + \text{ZnSO}_4$
- б)  $4\text{HCl} + \text{MnO}_2 = \text{Cl}_2 + \text{MnCl}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
- в)  $2\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 = 2\text{CuO} + 4\text{NO}_2 + \text{O}_2$
- г)  $\text{NH}_4\text{NO}_2 = \text{N}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$

**6.5.** В каких из приведенных ниже уравнений реакций оксид марганца (IV)  $\text{MnO}_2$  проявляет свойства окислителя, а в каких — восстановителя:

- а)  $2\text{MnO}_2 + 2\text{H}_2\text{SO}_4 = 2\text{MnSO}_4 + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
- б)  $2\text{MnO}_2 + \text{O}_2 + 4\text{KOH} = 2\text{K}_2\text{MnO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$
- в)  $\text{MnO}_2 + \text{H}_2 = \text{MnO} + \text{H}_2\text{O}$
- г)  $2\text{MnO}_2 + 3\text{NaBiO}_3 + 6\text{HNO}_3 = 2\text{HMnO}_4 + 3\text{BiONO}_3 + 3\text{NaNO}_3 + 2\text{H}_2\text{O}$

*Ответ:* в реакциях а, в  $\text{MnO}_2$  — окислитель; в реакциях б, г  $\text{MnO}_2$  — восстановитель.

**6.6.** В каких из приведенных ниже уравнений реакций соединения железа являются окислителями, в каких — восстановителями:

- а)  $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 2\text{Al} = 2\text{Fe} + \text{Al}_2\text{O}_3$
- б)  $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{KNO}_3 + 4\text{KOH} = 2\text{K}_2\text{FeO}_4 + 3\text{KNO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
- в)  $\text{FeSO}_4 + \text{Mg} = \text{MgSO}_4 + \text{Fe}$
- г)  $10\text{FeSO}_4 + 2\text{KMnO}_4 + 8\text{H}_2\text{SO}_4 = 5\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 2\text{MnSO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4 + 8\text{H}_2\text{O}$
- д)  $4\text{Fe}(\text{OH})_2 + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = 4\text{Fe}(\text{OH})_3$

*Ответ:* в реакциях б, г, д соединения железа — восстановители; в реакциях а, в — окислители.

**6.7.** Определите типы окислительно-восстановительных реакций:

- а)  $\text{H}_2\text{S} + 8\text{HNO}_3 = \text{H}_2\text{SO}_4 + 8\text{NO}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$
- б)  $2\text{H}_2\text{S} + \text{H}_2\text{SO}_3 = 3\text{S} + 3\text{H}_2\text{O}$
- в)  $2\text{Pb}(\text{NO}_3)_2 = 2\text{PbO} + 4\text{NO}_2 + \text{O}_2$
- г)  $2\text{NaNO}_3 = 2\text{NaNO}_2 + \text{O}_2$
- д)  $\text{NH}_4\text{NO}_2 = \text{N}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
- е)  $3\text{HNO}_2 = \text{HNO}_3 + 2\text{NO} + 2\text{H}_2\text{O}$

*Ответ:* а, б — межмолекулярный; в, г — внутримолекулярный, д, е — диспропорционирования.

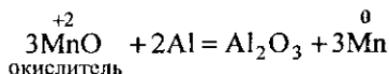
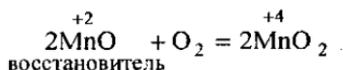
6.8. В каких из указанных ниже веществ марганец может проявлять только восстановительные свойства или только окислительные, или те и другие:  $\text{KMnO}_4$ ,  $\text{MnO}_2$ ,  $\text{Mn}_2\text{O}_7$ ,  $\text{Mn}$ ,  $\text{K}_2\text{MnO}_4$ ,  $\text{MnO}$ .

*Решение.* Определяем степени окисления марганца в указанных соединениях:  $\overset{+7}{\text{KMnO}_4}$ ,  $\overset{+4}{\text{MnO}_2}$ ,  $\overset{+7}{\text{Mn}_2\text{O}_7}$ ,  $\overset{0}{\text{Mn}}$ ,  $\overset{+6}{\text{K}_2\text{MnO}_4}$ ,  $\overset{+2}{\text{MnO}}$ .

Наивысшая степень окисления, характерная для марганца, +7 наблюдается в соединениях  $\text{KMnO}_4$  и  $\text{Mn}_2\text{O}_7$ . Следовательно, марганец в этих веществах может являться только окислителем, т. е. понижать степень окисления.

Наименьшая степень окисления марганца 0 в простом веществе. Следовательно, металлический марганец может быть только восстановителем, повышая свою степень окисления.

В остальных соединениях  $\text{MnO}_2$ ,  $\text{K}_2\text{MnO}_4$  и  $\text{MnO}$  марганец, в зависимости от действующих на него реагентов, может проявлять свойства как восстановителя, так и окислителя, например:



6.9. В каких из перечисленных ниже веществ хром может проявлять только восстановительные свойства, только окислительные или те и другие:  $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$ ,  $\text{CrO}_3$ ,  $\text{K}_2\text{CrO}_4$ ,  $\text{Cr}$ ,  $\text{CrCl}_2$ ,  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ?

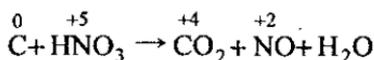
6.10. Укажите, в каких из приведенных ниже веществ сера может проявлять только восстановительные свойства, только окислительные, те и другие:  $\text{S}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_3$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{FeS}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ .

### Метод электронного баланса

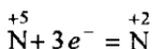
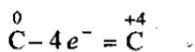
6.11. Составьте уравнение окислительно-восстановительной реакции, протекающей по схеме



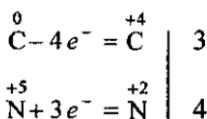
*Решение.* Определяем коэффициенты методом электронного баланса. Указываем степени окисления у тех элементов, которые ее изменяют в ходе реакции:



Отсюда видно, что С — восстановитель, а  $\text{HNO}_3$  — окислитель. Составляем электронные уравнения:



Находим коэффициенты при восстановителе и окислителе и продуктах их окисления и восстановления. При этом исходим из того, что число электронов, отданных восстановителем, должно равняться числу электронов, принятых окислителем:



Подставляем полученные коэффициенты в схему реакции:



Подбираем коэффициент перед формулой воды:

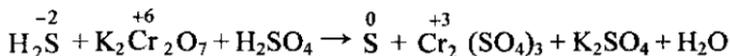


Проверяем правильность написания уравнения реакции: количества веществ (атомных углерода, водорода, азота и кислорода) в левой части уравнения равны количествам веществ в правой части уравнения. Следовательно, уравнение составлено верно.

**6.12.** Методом электронного баланса подберите коэффициенты в схеме окислительно-восстановительной реакции:

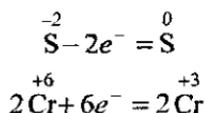


*Решение.* Записываем схему реакции с указанием степеней окисления элементов, которые их меняют:

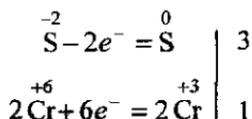


Здесь  $\text{H}_2\text{S}$  — восстановитель, а дихромат калия — окислитель.

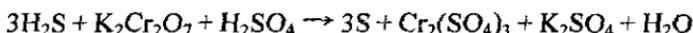
Составляем электронные уравнения, учитывая, что  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  и  $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$  количеством вещества 1 моль содержат 2 моль хрома:



Находим коэффициенты при восстановителе, окислителе и продуктах их окисления и восстановления:



Полученные коэффициенты при восстановителе  $\text{H}_2\text{S}$  и продукте его окисления  $\text{S}$ , окислителе  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  и продукте его восстановления  $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$  подставляем в схему реакции:



Оставшиеся коэффициенты подбираем в такой последовательности: соль ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ), кислота ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), вода. Окончательное уравнение реакции имеет вид



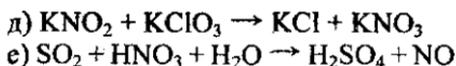
Для проверки правильности подбора коэффициентов подсчитываем количество вещества атомного кислорода в левой и правой частях уравнения. В левой части:  $(7 + 4 \cdot 4)$  моль = 23 моль. В правой части:  $(3 \cdot 4 + 4 + 7)$  моль = 23 моль. Следовательно, уравнение написано правильно.

**6.13.** Методом электронного баланса подберите коэффициенты в схемах, лежащих в основе металлургических процессов:

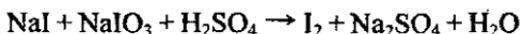
- а)  $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al} \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}$
- б)  $\text{V}_2\text{O}_5 + \text{Ca} \rightarrow \text{CaO} + \text{V}$
- в)  $\text{Mn}_2\text{O}_3 + \text{Si} \rightarrow \text{SiO}_2 + \text{Mn}$
- г)  $\text{TiCl}_4 + \text{Mg} \rightarrow \text{MgCl}_2 + \text{Ti}$

**6.14.** Методом электронного баланса подберите коэффициенты в схемах окислительно-восстановительных реакций:

- а)  $\text{NH}_3 + \text{O}_2 \rightarrow \text{NO} + \text{H}_2\text{O}$
- б)  $\text{P}_2\text{O}_5 + \text{C} \rightarrow \text{P} + \text{CO}$
- в)  $\text{KClO}_3 + \text{S} \rightarrow \text{KCl} + \text{SO}_2$
- г)  $\text{H}_2\text{S} + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{S} + \text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O}$

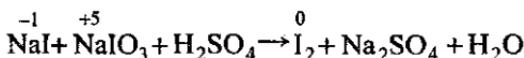


**6.15.** Методом электронного баланса подберите коэффициенты в схеме окислительно-восстановительной реакции:



Полученное уравнение перепишите в ионной и сокращенной ионной формах.

*Решение.* Записываем в схеме реакции степени окисления элементов, которые их меняют:

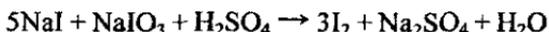


Восстановитель —  $\text{NaI}$  или  $\overset{-1}{\text{I}}$ , окислитель —  $\text{NaIO}_3$  или  $\overset{+5}{\text{I}}$ .

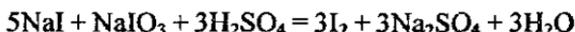
Продуктом окисления восстановителя и восстановления окислителя является молекулярный иод  $\text{I}_2$ .

Составляем электронные уравнения, находим коэффициенты при восстановителе, окислителе и продукте их окисления и восстановления.

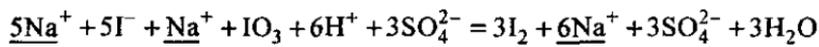
Подставляем полученные коэффициенты в схему реакции, учитывая, что коэффициент перед  $\overset{0}{\text{I}}$  равен 6 ( $5 + 1$ ), следовательно, перед  $\text{I}_2$  — 3:



Сопоставляя исходные и конечные вещества, определяем остальные коэффициенты в последовательности:  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ :

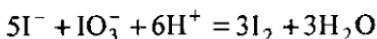


Чтобы записать уравнение в ионной форме, надо написать формулы растворимых солей ( $\text{NaI}$ ,  $\text{NaIO}_3$  и  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) и сильной кислоты ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) в виде ионов, на которые они практически полностью диссоциируют, оставив формулы остальных веществ ( $\text{I}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ ) в неизменном виде. Получаем уравнение реакции в ионной форме:

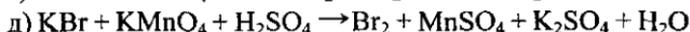
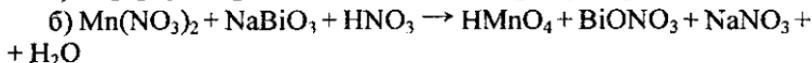
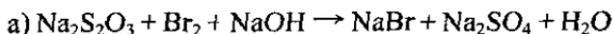


Если из левой и правой частей уравнения в ионной форме вычесть одинаковые количества веществ одноименных ионов (они

подчеркнуты), то получим уравнение реакции в сокращенной ионной форме.



**6.16.** Подберите коэффициенты в схемах следующих окислительно-восстановительных реакций методом электронного баланса:



Изобразите полученные уравнения в ионной и сокращенной ионной формах.

**6.17.** В схеме реакции между медью и концентрированной азотной кислотой подберите коэффициенты методом электронного баланса:

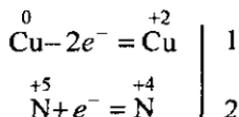


*Решение.* Переписываем схему реакции с указанием степеней окисления тех атомов, которые их меняют:



Восстановителем является медь, окислителем — азотная кислота. Следует отметить, что не вся азотная кислота, участвующая в реакции, является окислителем: часть ее расходуется на образование нитрата меди (II) без изменения степени окисления азота.

Составляем электронные уравнения и находим коэффициенты при восстановителе, окислителе и продуктах их окисления и восстановления:



Подставляем полученные коэффициенты в схему реакции. При нахождении коэффициента перед формулой азотной кислоты надо учесть, что 2 моль  $\text{HNO}_3$  восстанавливается (это следует из элект-

ронных уравнений), а еще 2 моль  $\text{HNO}_3$  требуется для образования 1 моль  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ . Следовательно, коэффициент перед  $\text{HNO}_3$  будет 4 (2 + 2):



В последнюю очередь подставляем коэффициент перед формулой воды:



**6.18.** Методом электронного баланса подберите коэффициенты в схемах взаимодействия металлов с концентрированной серной кислотой:

- а)  $\text{Cu} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{CuSO}_4 + \text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O}$   
 б)  $\text{Mg} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{MgSO}_4 + \text{H}_2\text{S} + \text{H}_2\text{O}$   
 в)  $\text{K} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{S} + \text{H}_2\text{O}$

**6.19.** В схемах реакций растворения металлов в азотной кислоте подберите коэффициенты методом электронного баланса:

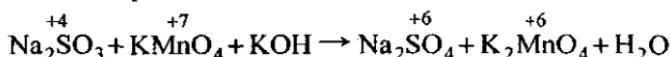
- а)  $\text{Ag} + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{AgNO}_3 + \text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O}$   
 б)  $\text{Cu} + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + \text{NO} + \text{H}_2\text{O}$   
 в)  $\text{Ca} + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + \text{N}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}$   
 г)  $\text{Mg} + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{Mg}(\text{NO}_3)_2 + \text{N}_2 + \text{H}_2\text{O}$   
 д)  $\text{Mg} + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{Mg}(\text{NO}_3)_2 + \text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{H}_2\text{O}$   
 е)  $\text{Fe} + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{Fe}(\text{NO}_3)_3 + \text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O}$

**6.20.** Методом электронного баланса подберите коэффициенты в схеме реакции:

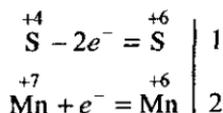


Напишите итоговое уравнение в сокращенной ионной форме.

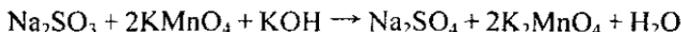
*Решение.* Определяем восстановитель и окислитель:



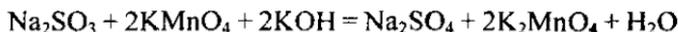
$\text{Na}_2\text{SO}_3$  — восстановитель,  $\text{KMnO}_4$  — окислитель. Составляем электронные уравнения и находим коэффициенты при восстановителе и окислителе:



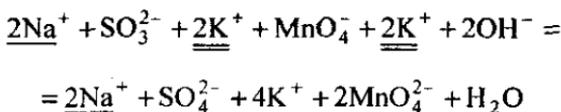
Подставляем полученные коэффициенты в схему реакции:



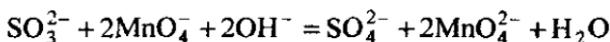
Подбираем остальные коэффициенты в последовательности: щелочь (KOH), вода:



Записываем уравнение в ионной форме:



Записываем уравнение окислительно-восстановительной реакции в сокращенной ионной форме:



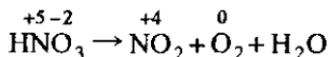
**6.21.** Подберите коэффициенты в схемах окислительно-восстановительных реакций методом электронного баланса и напишите уравнения в сокращенной ионной форме:

- а)  $\text{K}_2\text{S} + \text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{S} + \text{MnSO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$   
 б)  $\text{Zn} + \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{ZnSO}_4 + \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$   
 в)  $\text{SnSO}_4 + \text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Sn}(\text{SO}_4)_2 + \text{MnSO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$   
 г)  $\text{NaI} + \text{KMnO}_4 + \text{KOH} \rightarrow \text{I}_2 + \text{K}_2\text{MnO}_4 + \text{NaOH}$   
 д)  $\text{S} + \text{KClO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Cl}_2 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4$   
 е)  $\text{Na}_2\text{SO}_3 + \text{KIO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{I}_2 + \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$

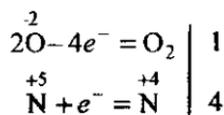
**6.22.** Методом электронного баланса подберите коэффициенты в схеме реакции внутримолекулярного окисления — восстановления:



*Решение.* Определяем, какие атомы меняют степень окисления:



Восстановителем является  $\overset{-2}{\text{O}}$ , окислителем —  $\overset{+5}{\text{N}}$ . Составляем электронные уравнения и находим коэффициенты при восстановителе и окислителе:



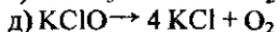
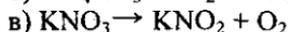
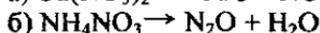
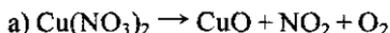
Подставляем полученные коэффициенты в схему реакции:



Подбираем коэффициент перед формулой воды:



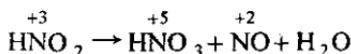
**6.23.** В схемах реакций внутримолекулярного окисления — восстановления подберите коэффициенты методом электронного баланса:



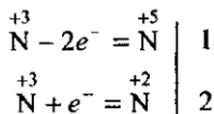
**6.24.** Методом электронного баланса подберите коэффициенты в схеме реакции диспропорционирования:



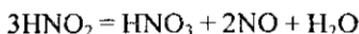
*Решение.* Определяем, какие атомы меняют степени окисления:



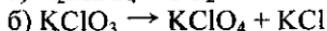
Составляем электронные уравнения и находим коэффициенты при восстановителе, окислителе и продуктах их окисления — восстановления:



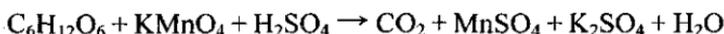
Подставляем полученные коэффициенты в схему реакции. При этом учитываем, что коэффициент перед  $\overset{+3}{\text{HNO}}_2$  (N) будет равен  $3(1+2)$ , так как N присутствует сразу в двух электронных уравнениях. Получаем:



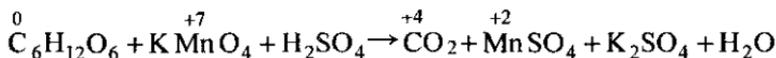
**6.25.** Подберите коэффициенты в схемах реакций диспропорционирования методом электронного баланса:



**6.26.** Используя представление о степенях окисления, напишите уравнения реакции с участием органического соединения:

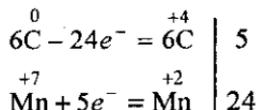


*Решение.* Переписываем схему реакции с указанием степеней окисления атомов, которые их меняют:

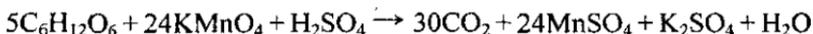


Отсюда видно, что  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$  — восстановитель,  $\text{KMnO}_4$  — окислитель.

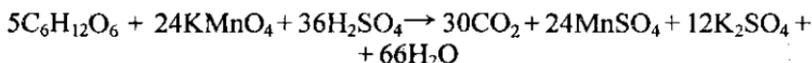
Составляем электронные уравнения и находим коэффициенты при окислителе и восстановителе и продуктах их окисления — восстановления:



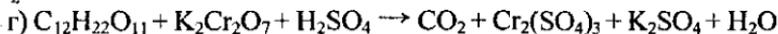
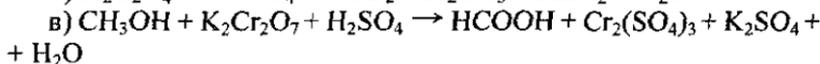
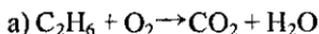
Подставляем полученные коэффициенты в схему реакции:



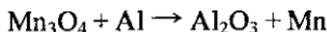
Оставшиеся коэффициенты подбираем в такой последовательности:  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ . Окончательно уравнение реакции имеет вид



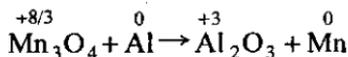
**6.27.** Используя степени окисления, подберите коэффициенты в схемах следующих реакций с участием органических соединений:



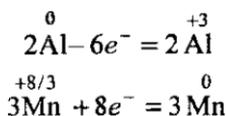
**6.28.** Составьте уравнение реакции, используя метод электронного баланса:



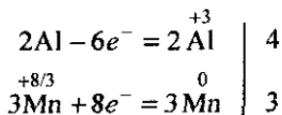
*Решение.* Определяем, какие атомы меняют степени окисления:



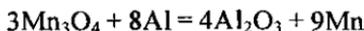
Подбор коэффициентов в примере с дробными степенями окисления проводится так же, как с целыми степенями окисления. Составляем электронные уравнения, учитывая, что  $\text{Al}_2\text{O}_3$  количеством вещества 1 моль содержит 2 моль алюминия, а 1 моль  $\text{Mn}_3\text{O}_4$  — 3 моль марганца:



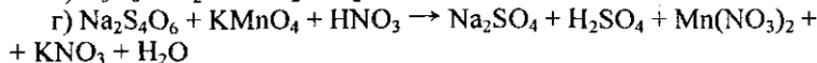
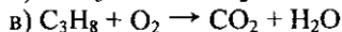
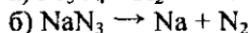
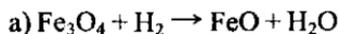
Находим коэффициенты при восстановителе, окислителе и продуктах их окисления — восстановления:

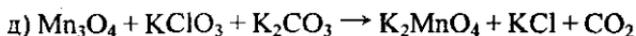


Подставляем полученные коэффициенты в схему реакции:



**6.29.** Подберите коэффициенты в схемах окислительно-восстановительных реакций, используя метод электронного баланса:

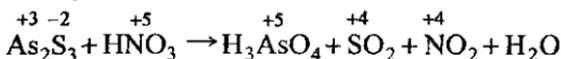




**6.30.** Используя метод электронного баланса, составьте уравнение реакции, протекающей по схеме

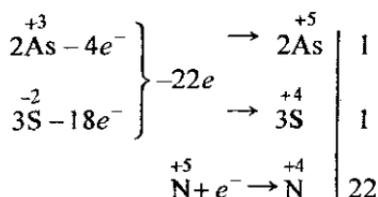


*Решение.* Определяем, какие атомы меняют степени окисления:



В данной реакции окислителем является азот  $\overset{+5}{\text{N}}$ , а восстановителями — мышьяк  $\overset{+3}{\text{As}}$  и сера  $\overset{-2}{\text{S}}$ . В таком случае необходимо подсчитывать число электронов, отдаваемых обоими восстановителями.

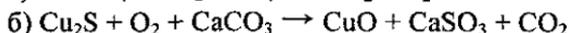
Записываем электронные уравнения, учитывая коэффициенты в формулах веществ:



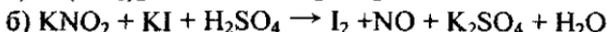
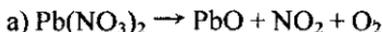
Подставляем найденные коэффициенты в схему реакции, затем подбираем коэффициент перед водой. Получаем

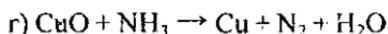


**6.31.** Используя степени окисления, подберите коэффициенты в следующих схемах окислительно-восстановительных реакций:

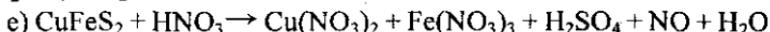
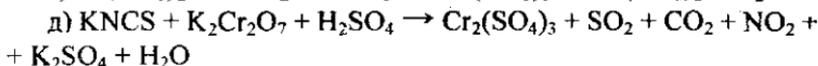
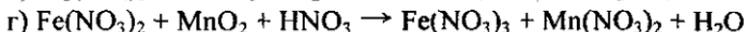
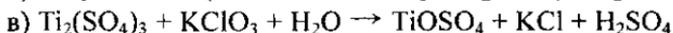
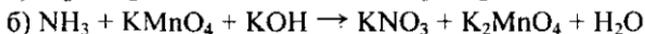
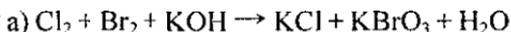


**6.32.** Методом электронного баланса подберите коэффициенты в схемах окислительно-восстановительных реакций:

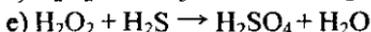
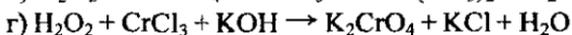
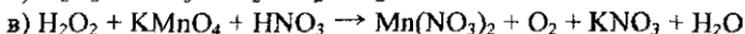
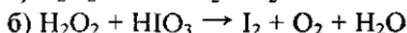
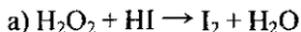




**6.33.** Подберите коэффициенты в схемах окислительно-восстановительных реакций. Укажите восстановитель и окислитель. Изобразите уравнения в ионной и сокращенной ионной формах:

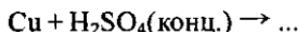


**6.34.** Используя метод электронного баланса, подберите коэффициенты в схемах окислительно-восстановительных реакций. Укажите, в каких реакциях пероксид водорода играет роль окислителя, в каких — восстановителя:



### Продукты окислительно-восстановительных реакций

**6.35.** Допишите схему реакции, подобрав коэффициенты методом электронного баланса:



*Решение.* Написать продукты окислительно-восстановительных реакций можно, зная конкретные свойства веществ и наиболее характерные степени окисления элементов. Так, для меди в соединениях наиболее характерна степень окисления +2, следовательно, в присутствии  $\text{SO}_4^{2-}$ -ионов образуется сульфат меди (II)  $\text{CuSO}_4$ . Сера в степени окисления +6 восстанавливается слабыми восстановителями (здесь — медь) до степени окисления +4, при этом образуется оксид серы (IV)  $\text{SO}_2$ . Ионы водорода из кислоты при

окислительно-восстановительных реакциях обычно входят в состав воды. Таким образом, схема реакции имеет вид



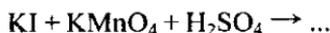
Подбирая коэффициенты методом электронного баланса, окончательно получаем



**6.36.** Допишите схемы реакций, подберите коэффициенты методом электронного баланса и укажите восстановитель и окислитель:

- а)  $\text{Na} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \dots$
- б)  $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CO} \rightarrow \dots$
- в)  $\text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightarrow \dots$
- г)  $\text{CH}_4 + \text{O}_2 \rightarrow \dots$
- д)  $\text{S} + \text{HNO}_3 \rightarrow \dots$

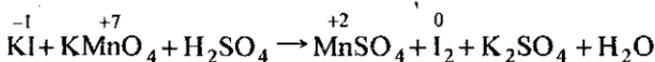
**6.37.** Составьте уравнение окислительно-восстановительной реакции:



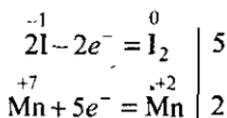
*Решение.* Марганец в перманганате калия  $\text{KMnO}_4$  находится в высшей степени окисления +7, следовательно,  $\text{KMnO}_4$  — окислитель. Продукты его восстановления зависят от кислотности среды, что можно изобразить схемой



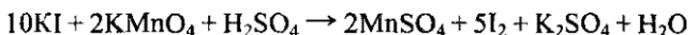
В нашем примере реакция протекает в кислой среде, следовательно, продукт восстановления перманганата калия —  $\text{Mn}^{2+}$  ( $\text{MnSO}_4$ ). Восстановителем будет иодид-ион, который окислится до молекулярного иода  $\text{I}_2$ . Кроме того, катионы калия с сульфат-ионами образуют сульфат калия  $\text{K}_2\text{SO}_4$ , а ионы водорода из кислоты с атомами кислорода из  $\text{KMnO}_4$  образуют воду. Окончательный вид схемы реакции:



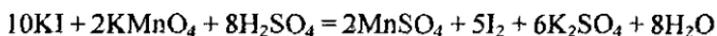
Составляем электронные уравнения и находим коэффициенты при восстановителе и окислителе:



Подставляем коэффициенты в схему реакции:



Подбираем остальные коэффициенты в такой последовательности: соль, кислота, вода. Окончательно получим



**6.38.** Составьте уравнения окислительно-восстановительных реакций:

- а)  $\text{NaNO}_2 + \text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \dots$
- б)  $\text{NaNO}_2 + \text{KMnO}_4 + \text{KOH} \rightarrow \dots$
- в)  $\text{NaNO}_2 + \text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \dots$
- г)  $\text{Na}_2\text{SO}_3 + \text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \dots$
- д)  $\text{PbO}_2 + \text{HCl} \rightarrow \text{PbCl}_2 + \dots$
- е)  $\text{FeSO}_4 + \text{KMnO}_4 + \dots \rightarrow \text{MnSO}_4 + \dots$

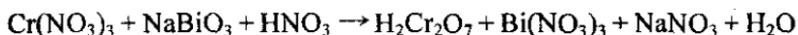
**6.39.** Напишите уравнения реакций, при помощи которых можно осуществить следующие превращения:

- а)  $\text{SO}_2 \rightarrow \text{Na}_2\text{SO}_3 \rightarrow \text{Na}_2\text{SO}_4$
- б)  $\text{FeCl}_2 \rightarrow \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3$
- в)  $\text{Cu} \rightarrow \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \rightarrow \text{Cu}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{CuO}$
- г)  $\text{KMnO}_4 \rightarrow \text{MnO}_2 \rightarrow \text{MnCl}_2 \rightarrow \text{MnS}$

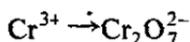
Укажите, какие из реакций относятся к окислительно-восстановительным. Коэффициенты в этих реакциях подберите методом электронного баланса.

### Метод полуреакций (электронно-ионного баланса)

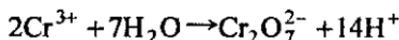
**6.40.** Методом полуреакций подберите коэффициенты в следующей схеме:



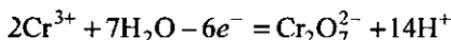
*Решение.* Определяем, какие частицы в ходе реакции подвергаются окислению и восстановлению. Ион хрома (III) превращается в дихромат-ион:



Для образования 1 моль ионов  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  необходимо 2 моль ионов  $\text{Cr}^{3+}$  и 7 моль атомного кислорода, который может быть взят из 7 моль воды. При этом водород (14 моль) останется в виде ионов:

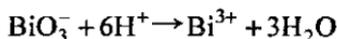


Уравняя число зарядов в обеих частях уравнения, получаем

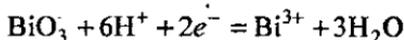


Ионы  $\text{Cr}^{3+}$  в данной реакции служат восстановителями.

Ион  $\text{ViO}_3^-$  превращается в  $\text{Vi}^{3+}$ . При этом атомный кислород (3 моль) связывается с ионами водорода (6 моль), образуя воду:

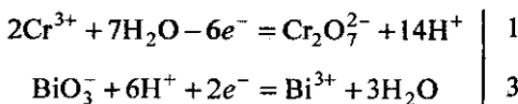


Уравниваем число зарядов и получаем

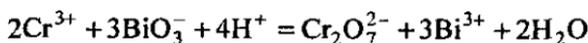


Ионы  $\text{ViO}_3^-$  являются окислителями.

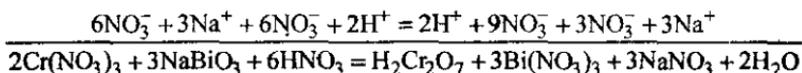
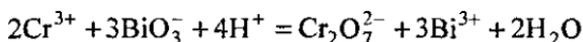
Составляем сокращенное ионное уравнение реакции, суммируя уравнения реакций процессов окисления и восстановления. При этом каждое уравнение умножается на определенный коэффициент, чтобы количество вещества электронов, отданных восстановителем, равнялось количеству вещества электронов, принятых окислителем:



или



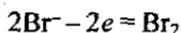
Дописывая к левой и правой частям уравнения одинаковые количества веществ одноименных ионов, переходим к уравнению реакции в молекулярной форме:



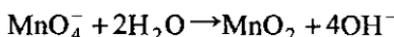
**6.41.** Методом полуреакций подберите коэффициенты в реакции, протекающей по схеме



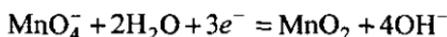
*Решение.* Бромид-ион  $\text{Br}^-$  переходит в молекулярный бром, отдавая электроны, следовательно, он является восстановителем:



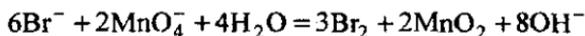
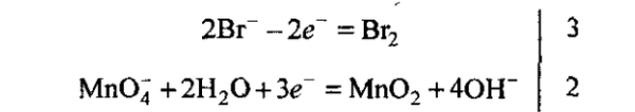
Окислителем является перманганат-ион  $\text{MnO}_4^-$ , который переходит в оксид марганца (IV). Кислород количеством вещества 2 моль при этом связывается с водой (2 моль), образуя гидроксид-ионы:



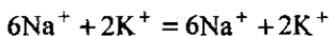
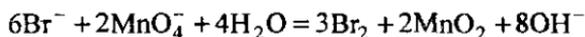
Учитывая заряды ионов, получаем



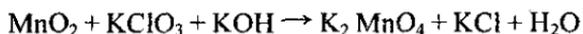
Составляем уравнение реакции в сокращенной ионной форме:



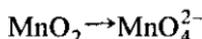
Составляем уравнение реакции в молекулярной форме:



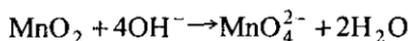
6.42. Составьте уравнение окислительно-восстановительной реакции, используя метод полуреакций:



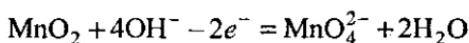
Решение. Оксид марганца (IV) переходит в манганат-ионы:



Для такого перехода необходим кислород количеством вещества 2 моль, которые могут быть взяты от гидроксид-ионов (4 моль). При этом образуется также вода (2 моль):

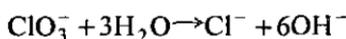


Учитывая число зарядов ионов, получаем

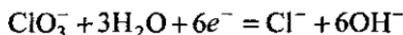


$\text{MnO}_2$  в данной реакции служит восстановителем.

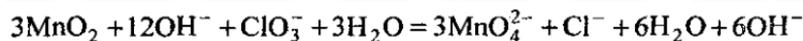
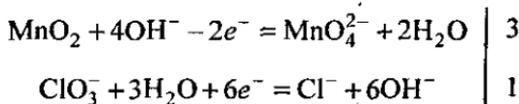
Окислитель — хлорат-ионы  $\text{ClO}_3^-$  — переходит в хлорид-ионы  $\text{Cl}^-$ . Атомный кислород при этом связывается с молекулами воды, образуя гидроксид-ионы:



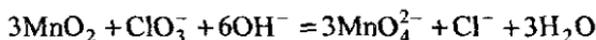
Уравниваем число зарядов и получаем



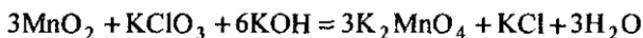
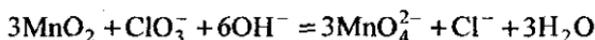
Составляем уравнение реакции в сокращенной ионной форме:



или



Составляем уравнение реакции в молекулярной форме:





$$n(\text{KMnO}_4) = \frac{m(\text{KMnO}_4)}{M(\text{KMnO}_4)}; n(\text{KMnO}_4) = \frac{3,16}{158} \text{ моль} = 0,02 \text{ моль.}$$

Из уравнения реакции следует:

$$\frac{n(\text{KMnO}_4)}{n(\text{Na}_2\text{SO}_3)} = \frac{2}{5},$$

откуда

$$n(\text{Na}_2\text{SO}_3) = \frac{5}{2} n(\text{KMnO}_4); n(\text{Na}_2\text{SO}_3) = \frac{5 \cdot 0,02}{2} \text{ моль} = 0,05 \text{ моль.}$$

Масса  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ , содержащегося в образце, составляет:

$$m(\text{Na}_2\text{SO}_3) = n(\text{Na}_2\text{SO}_3) \cdot M(\text{Na}_2\text{SO}_3); m(\text{Na}_2\text{SO}_3) = 0,05 \cdot 126 \text{ г} = 6,3 \text{ г.}$$

Рассчитываем массовую долю  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  в техническом сульфите:

$$w(\text{Na}_2\text{SO}_3) = \frac{m(\text{Na}_2\text{SO}_3)}{m(\text{образца})}; w(\text{Na}_2\text{SO}_3) = \frac{6,3}{9} = 0,7, \text{ или } 70\%.$$

**6.47.** Какая масса перманганата калия потребуется для окисления сульфита калия массой 8 г, находящегося в нейтральном растворе? *Ответ:* 5,33 г.

**6.48.** Хватит ли раствора массой 120 г с массовой долей перманганата калия 4% для окисления раствора массой 50 г с массовой долей сульфита натрия 3%, который содержит также гидроксид калия? *Ответ:* не хватит.

**6.49.** Какой объем сероводорода, измеренный при нормальных условиях, прореагирует с раствором молекулярного иода массой 150 г, массовая доля  $\text{I}_2$  в котором составляет 2%? *Ответ:* 265 мл.

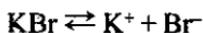
**6.50.** На полное обесцвечивание раствора молекулярного иода затратили раствор массой 76 г с массовой долей сульфата железа (II) 10%. Какая масса иода содержалась в исходном растворе? *Ответ:* 6,35 г.

## 7. ЭЛЕКТРОЛИЗ

### Процессы на электродах при электролизе

**7.1.** Напишите уравнение реакции электролиза расплава бромида калия.

*Решение.* В расплаве бромид калия диссоциирует на ионы



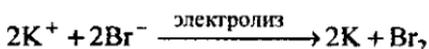
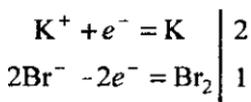
Образующиеся катионы под действием электрического тока перемещаются к отрицательному электроду (катоде) и принимают от него электроны (восстанавливаются):



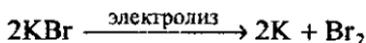
Отрицательно заряженные ионы — бромид-ионы под действием электрического поля перемещаются к положительному электроду — аноду — и отдают электроны (окисляются):



Можно суммировать уравнения процессов восстановления и окисления, умножив каждое из них на соответствующий коэффициент, чтобы уравнять число электронов, участвующих в катодном и анодном процессах:



или в молекулярной форме

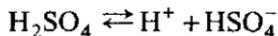


7.2. Составьте уравнения электролиза расплавов следующих соединений: а) NaCl; б) K<sub>2</sub>S; в) BaCl<sub>2</sub>.

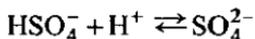
7.3. Напишите уравнения реакций электролиза водного раствора серной кислоты с инертными электродами.

*Решение.* В водном растворе серная кислота практически полностью диссоциирует на ионы по двум ступеням:

1 ступень



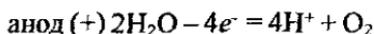
2 ступень



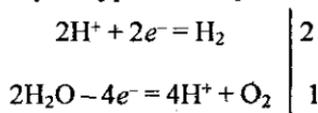
При пропускании через раствор постоянного электрического тока к катоду будут перемещаться ионы водорода, которые и восстанавливаются:



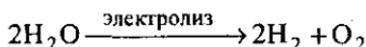
Вблизи анода будут скапливаться сульфат-ионы, которые, однако, не окисляются в водных растворах, так как легче окисляется вода:



Составляем суммарное уравнение реакций электролиза:



Исключая из правой и левой частей одинаковые количества веществ одноименных ионов (они подчеркнуты), получаем

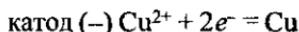


7.4. Какие процессы будут происходить на электродах при электролизе водного раствора хлорида меди (II) с инертными электродами?

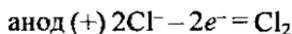
*Решение.* В растворе хлорид меди (II) диссоциирует на ионы:



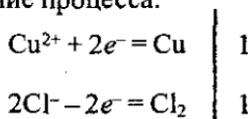
Значение стандартного электродного потенциала медного электрода положительно (0,34 В), следовательно, ионы меди (II) будут легко восстанавливаться в водных растворах:



Хлорид-анионы, как и многие анионы бескислородных кислот, окисляются в водных растворах:



Суммарное уравнение процесса:

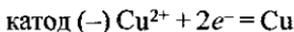


или

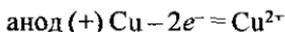


7.5. Напишите уравнение реакции электролиза водного раствора сульфата меди (II) с медными электродами.

*Решение.* На катоде будет происходить восстановление катионов меди (II):



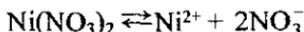
В случае медных электродов анодный процесс будет связан с окислением материала электрода:



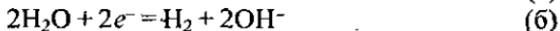
Таким образом, в результате процесса медь растворяется на аноде, но такое же количество вещества меди (за исключением некоторых потерь) выделяется на катоде. Суммарное уравнение реакции электролиза с растворимым анодом написать нельзя.

7.6. Какие реакции будут протекать на электродах при электролизе водного раствора нитрата никеля (II) с инертными электродами?

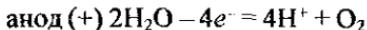
*Решение.* В растворе нитрата никеля (II) находятся ионы:



При электролизе вблизи катода имеются катионы никеля (II) и вода. Так как стандартный электродный потенциал никелевого электрода равен  $-0,25$  В, то на катоде будут протекать параллельно два процесса: восстановление катионов никеля (II) и воды:



Нитрат-ионы скапливаются вблизи анода, но окислению легче подвергается вода:



При протекании на одном из электродов нескольких параллельных процессов суммарное уравнение реакции записывать не следует: в данном примере неизвестно, например, какое количество электричества затрачено на реакцию (а), а какое — на реакцию (б).

7.7. Напишите уравнения реакций электролиза водных растворов иодида калия и сульфата натрия с инертными электродами.

7.8. Какие продукты образуются при электролизе водных растворов следующих солей с инертными электродами:

а)  $\text{AgNO}_3$ ; б)  $\text{ZnSO}_4$ ; в)  $\text{AuCl}_3$ ?

7.9. Напишите уравнения реакций электролиза водных растворов  $\text{HCl}$  и  $\text{HNO}_3$  с инертными электродами.

7.10. Какие вещества можно получить при электролизе водного раствора хлорида натрия с инертными электродами?

7.11. Какие процессы будут происходить при электролизе водного раствора нитрата кобальта (II) с инертными электродами и с кобальтовым (растворимым) анодом?

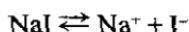
7.12. Напишите уравнения процессов, которые будут протекать при электролизе расплава и водного раствора гидроксида натрия.

7.13. Составьте уравнения реакций электролиза водных растворов следующих веществ: а)  $\text{AlCl}_3$ ; б)  $\text{K}_3\text{PO}_4$ ; в)  $\text{Pt}(\text{NO}_3)_2$ . Электролиз ведется с инертными электродами.

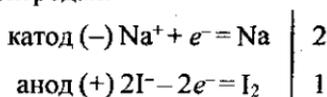
### Расчетные задачи

7.14. Какая масса натрия выделится на катоде при электролизе расплава иодида натрия, если на аноде выделился иод массой 762 г?

*Решение.* Составляем уравнение реакции электролиза. Соль в расплаве диссоциирует на ионы:



Процессы на электродах:



или



Определяем количество вещества выделившегося иода:

$$n(I_2) = \frac{m(I_2)}{M(I_2)}; n(I_2) = \frac{762}{254} \text{ моль} = 3 \text{ моль.}$$

Из уравнения реакции электролиза следует:

$$\frac{n(\text{Na})}{n(I_2)} = \frac{2}{1},$$

отсюда

$$n(\text{Na}) = 2n(I_2); n(\text{Na}) = 2 \cdot 3 \text{ моль} = 6 \text{ моль.}$$

Находим массу полученного натрия:

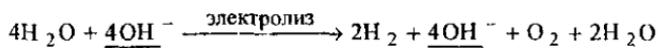
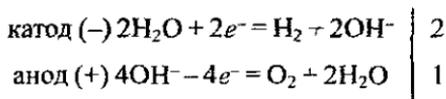
$$m(\text{Na}) = n(\text{Na}) \cdot M(\text{Na}); m(\text{Na}) = 6 \cdot 23 \text{ г} = 138 \text{ г.}$$

**7.15.** При электролизе расплава хлорида калия на катоде получили калий массой 7,8 г. Определите объем хлора, который выделился на аноде. Объем рассчитайте при нормальных условиях.  
*Ответ:* 2,24 л.

**7.16.** Один из способов промышленного получения кальция — электролиз расплавленного хлорида кальция. Какая масса металла будет получена, если известно, что в результате электролиза выделился хлор объемом 896 л (нормальные условия)? *Ответ:* 1,6 кг.

**7.17.** При электролизе водного раствора гидроксида калия с инертными электродами на катоде выделился молекулярный водород, объем которого при нормальных условиях равен 11,2 л. Какой объем кислорода выделится при этом на аноде?

*Решение 1.* Записываем уравнение реакции электролиза, учитывая, что на катоде восстанавливается вода (катионы калия не восстанавливаются в водных растворах), а на аноде окисляются гидроксид-ионы:



или



Определяем количество вещества выделившегося водорода:

$$n(\text{H}_2) = \frac{V(\text{H}_2)}{V_m}; n(\text{H}_2) = \frac{11,2}{22,4} \text{ моль} = 0,5 \text{ моль.}$$

Из уравнения реакции следует:

$$\frac{V(\text{O}_2)}{V(\text{H}_2)} = \frac{1}{2}; n(\text{O}_2) = \frac{1}{2} n(\text{H}_2); n(\text{O}_2) = \frac{1}{2} 0,5 \text{ моль} = 0,25 \text{ моль.}$$

Рассчитываем объем выделившегося кислорода:

$$V(\text{O}_2) = n(\text{O}_2) \cdot V_m; V(\text{O}_2) = 0,25 \cdot 22,4 \text{ л} = 5,6 \text{ л.}$$

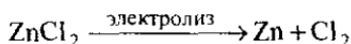
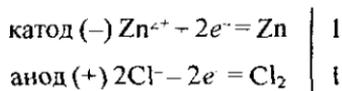
*Решение 2.* Используем следствие из закона Авогадро, согласно которому одинаковые количества веществ различных газов при одинаковых условиях занимают одинаковый объем. Поэтому из уравнения реакции электролиза (см. решение 1) следует:

$$\frac{V(\text{H}_2)}{V(\text{O}_2)} = \frac{2}{1}; V(\text{O}_2) = \frac{1}{2} V(\text{H}_2); V(\text{O}_2) = \frac{1}{2} 11,2 \text{ л} = 5,6 \text{ л.}$$

**7.18.** При электролизе водного раствора нитрата серебра с инертными электродами на аноде выделился кислород массой 12 г. Какая масса серебра образовалась при этом? *Ответ.* 162 г.

**7.19.** При электролизе водного раствора хлорида цинка на аноде выделился хлор объемом 26,88 л (нормальные условия), а на катоде — цинк массой 62,4 г. Считая выход хлора количественным, определите выход цинка.

*Решение.* Составляем уравнение реакции электролиза водного раствора хлорида цинка. При этом будем полагать, что выход цинка является количественным, т. е. все количество электричества на катоде затрачивается только на восстановление катионов цинка:



Определяем количество вещества выделившегося хлора:

$$n(\text{Cl}_2) = \frac{V(\text{Cl}_2)}{V_m}; n(\text{Cl}_2) = \frac{26,88}{22,4} \text{ моль} = 1,2 \text{ моль.}$$

Из уравнения реакции следует:

$$n(\text{Zn}) = n(\text{Cl}_2); n(\text{Zn}) = 1,2 \text{ моль}$$

Находим массу цинка, который образовался бы, если бы его выход был количественный:

$$m(\text{Zn}) = n(\text{Zn}) \cdot M(\text{Zn}); m(\text{Zn}) = 1,2 \cdot 65 \text{ г} = 78 \text{ г.}$$

Из условия задачи известно, что масса реально полученного цинка составляет  $m_p(\text{Zn}) = 62,4 \text{ г}$ . Эта масса меньше рассчитанной главным образом из-за того, что часть пропускаемого электричества на катоде затрачивается на восстановление воды:



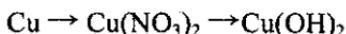
Используя формулу (1.6), определяем выход цинка:

$$\eta = \frac{m_p(\text{Zn}) \cdot 100}{m(\text{Zn})}; \eta = \frac{62,4 \cdot 100}{78} \% = 80\%.$$

**7.20.** При электролизе водного раствора сульфата никеля (II) на катоде получили никель массой 177 г, выход которого составил 75%. Какой объем кислорода выделится при этом на аноде? Выход кислорода считать количественным. *Ответ:* 44,8 л.

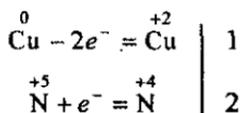
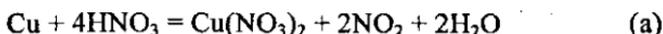
## 8. КОМБИНИРОВАННЫЕ ЗАДАЧИ

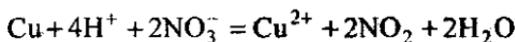
**8.1.** Какую массу гидроксида меди (II) можно получить из меди массой 16 г по следующей схеме:



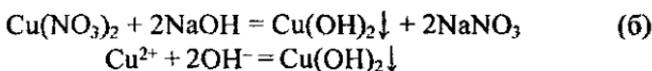
Напишите уравнения реакций в молекулярной и ионной формах.

*Решение.* Составляем уравнения протекающих реакций. Нитрат меди (II) можно получить, растворяя медь в концентрированной азотной кислоте:





Действием щелочи на раствор нитрата меди (II) можно получить гидроксид меди (II):



Определяем количество вещества меди, взятой для реакции:

$$n(\text{Cu}) = \frac{m(\text{Cu})}{M(\text{Cu})}; n(\text{Cu}) = \frac{16}{64} \text{ моль} = 0,25 \text{ моль.}$$

Из уравнения (а) следует:

$$\frac{n(\text{Cu})}{n(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2)} = \frac{1}{1}$$

и из уравнения (б) —

$$\frac{n(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2)}{n(\text{Cu}(\text{OH})_2)} = \frac{1}{1}$$

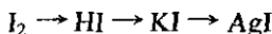
Следовательно,

$$\frac{n(\text{Cu})}{n(\text{Cu}(\text{OH})_2)} = \frac{1}{1}; n(\text{Cu}(\text{OH})_2) = n(\text{Cu}); n(\text{Cu}(\text{OH})_2) = 0,25 \text{ моль.}$$

Находим массу гидроксида меди (II):

$$m(\text{Cu}(\text{OH})_2) = n(\text{Cu}(\text{OH})_2) \cdot M(\text{Cu}(\text{OH})_2); m(\text{Cu}(\text{OH})_2) = 0,25 \cdot 98 \text{ г} = 24,5 \text{ г.}$$

**8.2.** При осуществлении превращений по схеме



получили иодид серебра массой 61,1 г, причем выход составил 65% от теоретически возможного. Какая масса иода была взята? Напишите уравнения реакций в молекулярной и ионной формах, с помощью которых можно осуществить указанные превращения. *Ответ:* 50,8 г.

**8.3.** Некоторый газ образован бором и водородом, причем массовая доля водорода в нем равна 18,5%. Плотность этого газа по водороду составляет 27. Определите формулу этого газа.

*Решение.* Выбираем для расчетов образец газа массой 100 г. Определяем массы и количества веществ атомных бора и водорода:

$$m(\text{B}) = mw(\text{B}); m(\text{B}) = 100 \cdot 0,815 \text{ г} = 81,5 \text{ г},$$

$$m(\text{H}) = mw(\text{H}); m(\text{H}) = 100 \cdot 0,185 \text{ г} = 18,5 \text{ г};$$

$$n(\text{B}) = \frac{m(\text{B})}{M(\text{B})}; n(\text{B}) = \frac{81,5}{11} \text{ моль} = 7,4 \text{ моль};$$

$$n(\text{H}) = \frac{m(\text{H})}{M(\text{H})}; n(\text{H}) = \frac{18,5}{1} \text{ моль} = 18,5 \text{ моль}.$$

Находим отношение количеств веществ бора и водорода:

$$\frac{n(\text{B})}{n(\text{H})} = \frac{7,4}{18,5}. \quad (\text{а})$$

Используя плотность по водороду, рассчитываем молярную массу газа:

$$M(\text{газа}) = 2D_{\text{H}_2}(\text{газа}); M(\text{газа}) = 2 \cdot 27 \text{ г/моль} = 54 \text{ г/моль}.$$

Молярная масса газа будет суммироваться из молярных масс атомных бора и водорода с учетом количеств этих веществ, содержащихся в 1 моль газа:

$$M(\text{газа}) = \frac{M(\text{B}) \cdot n(\text{B}) + M(\text{H}) \cdot n(\text{H})}{n(\text{газа})}$$

или, учитывая, что  $n(\text{газа}) = 1$  моль, записываем:

$$54 = 11n(\text{B}) + n(\text{H}). \quad (\text{б})$$

Решая систему уравнений (а) и (б), находим, что  $n(\text{H}) = 10$  моль,  $n(\text{B}) = 4$  моль, т. е. формула газа —  $\text{B}_4\text{H}_{10}$ .

**8.4.** Массовые доли кремния и водорода, входящих в состав некоторого соединения, равны соответственно 91,3 и 8,7%. Определите формулу соединения, если плотность его паров по воздуху равна 3,172. *Ответ:*  $\text{Si}_3\text{H}_8$ .

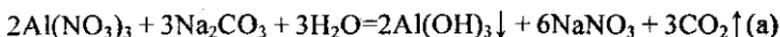
**8.5.** В стальном баллоне объемом 5 л находится аммиак при температуре 22° С и давлении 620 кПа. Какая масса гидросульфата аммония может быть получена, если весь аммиак пропустить через избыток раствора серной кислоты? *Ответ:* 145 г.

8.6. Для анализа фосфорсодержащего удобрения взяли его образец массой 5 г. В результате ряда превращений получили фосфат кальция массой 6,2 г. Определите массовую долю фосфора в удобрении. Считайте, что потеря фосфора при получении фосфата кальция не было. *Ответ:* 24,8%.

8.7. Какой объем воздуха потребуется для сжигания угля массой 10 кг? Объемная доля кислорода в воздухе составляет 21%. Уголь содержит углерод (массовая доля 96%), серу (0,8%) и негорючие примеси. Объем воздуха рассчитайте при температуре 30 °С и давлении 202,6 кПа. *Ответ:* 47,36 м<sup>3</sup>.

8.8. К раствору, в котором находится нитрат алюминия массой 42,6 г, прилили раствор, содержащий карбонат натрия массой 37,2 г. Осадок прокалили. Определите массу остатка после прокаливания.

*Решение.* Нитрат алюминия — соль слабого основания и сильной кислоты, карбонат натрия — соль сильного основания и слабой кислоты, следовательно, обе соли в растворе подвергаются гидролизу. При смешении растворов они взаимно усиливают гидролиз (см. задачу 5.58), который в этом случае протекает до конца. Уравнение реакции имеет вид



При прокаливании осадка образуется оксид алюминия:



Определяем количества веществ:

$$n(\text{Al}(\text{NO}_3)_3) = \frac{m(\text{Al}(\text{NO}_3)_3)}{M(\text{Al}(\text{NO}_3)_3)}; n(\text{Al}(\text{NO}_3)_3) = \frac{42,6}{213} \text{ моль} = 0,2 \text{ моль};$$

$$n(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{m(\text{Na}_2\text{CO}_3)}{M(\text{Na}_2\text{CO}_3)}; n(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{37,2}{106} \text{ моль} = 0,35 \text{ моль}.$$

Из уравнения (а) видно, что для реакции с 0,2 моль нитрата алюминия требуется 0,3 моль карбоната натрия, следовательно, карбонат натрия взят в избытке.

Из уравнения (а) следует:

$$\frac{n(\text{Al}(\text{NO}_3)_3)}{n(\text{Al}(\text{OH})_3)} = \frac{1}{1}$$

Из уравнения (б) следует:

$$\frac{n(\text{Al}(\text{OH})_3)}{n(\text{Al}_2\text{O}_3)} = \frac{2}{1},$$

поэтому

$$\frac{n(\text{Al}(\text{NO}_3)_3)}{n(\text{Al}_2\text{O}_3)} = \frac{2}{1}.$$

Отсюда получаем:

$$n(\text{Al}_2\text{O}_3) = \frac{n(\text{Al}(\text{NO}_3)_3)}{2}; n(\text{Al}_2\text{O}_3) = \frac{0,2}{2} \text{ моль} = 0,1 \text{ моль}.$$

Определяем массу оксида алюминия, полученного после прокаливания:

$$m(\text{Al}_2\text{O}_3) = n(\text{Al}_2\text{O}_3) \cdot M(\text{Al}_2\text{O}_3); m(\text{Al}_2\text{O}_3) = 0,1 \cdot 102 \text{ г} = 10,2 \text{ г}.$$

**8.9.** Продуктами горения вещества массой 3,2 г являются азот объемом 2,24 л (нормальные условия) и вода массой 3,6 г. Определите формулу соединения, если плотность его паров по водороду равна 16.

*Решение.* Определяем количество вещества молекулярного азота:

$$n(\text{N}_2) = \frac{V(\text{N}_2)}{V_m}; n(\text{N}_2) = \frac{2,24}{22,4} \text{ моль} = 0,1 \text{ моль}.$$

Следовательно, количество вещества атомного азота, находившегося в сожженном образце вещества, составляет:

$$n(\text{N}) = 2n(\text{N}_2); n(\text{N}) = 2 \cdot 0,1 \text{ моль} = 0,2 \text{ моль}.$$

Масса азота равна:

$$m(\text{N}) = n(\text{N}) \cdot M(\text{N}); m(\text{N}) = 0,2 \cdot 14 \text{ г} = 2,8 \text{ г}.$$

Определяем количество вещества воды:

$$n(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{M(\text{H}_2\text{O})}; n(\text{H}_2\text{O}) = \frac{3,6}{18} \text{ моль} = 0,2 \text{ моль}.$$

Количество вещества атомного водорода, содержавшегося в исходном веществе, составляет:

$$n(\text{H}) = 2n(\text{H}_2\text{O}); n(\text{H}) = 2 \cdot 0,2 \text{ моль} = 0,4 \text{ моль}.$$

Масса водорода равна:

$$m(\text{H}) = n(\text{H}) \cdot M(\text{H}); m(\text{H}) = 0,4 \cdot 1 \text{ г} = 0,4 \text{ г.}$$

Суммарная масса азота и водорода  $(2,8 + 0,4) \text{ г} = 3,2 \text{ г}$ , т. е. равна массе сожженного вещества. Следовательно, это вещество состоит только из азота и водорода. Найдем отношение количеств веществ азота и водорода:

$$\frac{n(\text{N})}{n(\text{H})} = \frac{0,2}{0,4} = \frac{1}{2}$$

или

$$2n(\text{N}) = n(\text{H}). \quad (\text{а})$$

Определяем молярную массу вещества:

$$M(\text{вещества}) = 2D_{\text{H}_2}; M(\text{вещества}) = 2 \cdot 16 \text{ г/моль} = 32 \text{ г/моль.}$$

Молярную массу вещества можно определить и так:

$$M(\text{вещества}) = n(\text{N}) \cdot M(\text{N}) + n(\text{H}) \cdot M(\text{H}).$$

Получаем:

$$32 = n(\text{N}) \cdot 14 + n(\text{H}). \quad (\text{б})$$

Решая систему уравнений (а) и (б), находим:

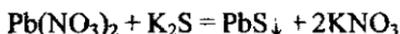
$$n(\text{N}) = 2 \text{ моль}, n(\text{H}) = 4 \text{ моль},$$

т. е. формула соединения  $\text{N}_2\text{H}_4$ .

**8.10.** При частичном восстановлении водородом оксида кобальта (II) массой 30 г получили смесь оксида и металла массой 26,8 г. Какое количество вещества водорода вступило в реакцию? Определите массовую долю кобальта в полученной смеси. *Ответ:* 0,2 моль  $\text{H}_2$ ; 44% Co.

**8.11.** К раствору нитрата свинца (II) массой 250 г прилили избыток раствора сульфида калия. Образовался осадок массой 47,8 г. Определите массовую долю нитрата свинца (II) в исходном растворе.

*Решение.* При добавлении раствора сульфида калия к раствору нитрата свинца (II) происходит реакция



Количество вещества сульфида свинца ( I ) составляет:

$$n(\text{PbS}) = \frac{m(\text{PbS})}{M(\text{PbS})}; n(\text{PbS}) = \frac{47,8}{239} \text{ моль} = 0,2 \text{ моль.}$$

Из уравнения реакции следует, что

$$n(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2) = n(\text{PbS}); n(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2) = 0,2 \text{ моль.}$$

Вычисляем массу нитрата свинца (II) в исходном растворе:

$$m(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2) = n(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2) \cdot M(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2); m(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2) = \\ = 0,2 \cdot 331 \text{ г} = 66,2 \text{ г.}$$

Определяем массовую долю нитрата свинца (II) в исходном растворе:

$$w(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2) = \frac{m(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2)}{m}; w(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2) = \frac{66,2}{250} = 0,2648, \\ \text{или } 26,48\%.$$

**8.12.** Смесь водорода и хлороводорода объемом 7 л (нормальные условия) пропустили через избыток раствора нитрата серебра, получив осадок массой 28,7 г. Определите объемную долю водорода в смеси. *Ответ:* 36%.

**8.13.** Через раствор массой 50 г с массовой долей иодида натрия 15% пропустили избыток хлора. Выделился йод массой 5,6 г. Определите выход продукта реакции. *Ответ:* 88,2%.

**8.14.** Газ, полученный при взаимодействии сульфида железа (II) массой 17,6 г с избытком серной кислоты, пропустили через раствор сульфата меди (II) массой 300 г. Образовался осадок массой 14,4 г. Определите массовую долю сульфата меди (II) в растворе. *Ответ:* 8%.

**8.15.** Напишите уравнения реакций, которые надо провести для осуществления следующих превращений:

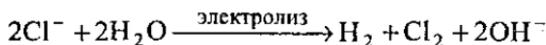
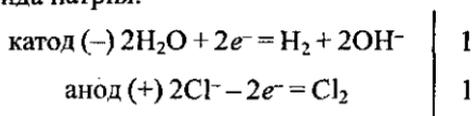


Какие из реакций являются окислительно-восстановительными? В уравнениях этих реакций подберите коэффициенты методом электронного баланса.

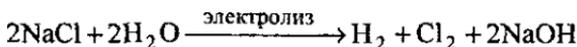
**8.16.** Какой объем газа, измеренный при температуре 22 °С и давлении 98 кПа, выделится, если к раствору массой 230 г с массовой долей карбоната натрия 15% прилить раствор массой 220 г с массовой долей хлороводорода 20%? *Ответ:* 6,26 л.

8.17. В воде массой 400 г растворили хлорид натрия массой 46,8 г. В раствор поместили инертные электроды и пропустили постоянный электрический ток, собрав хлор, объем которого при нормальных условиях составил 2,24 л. Определите массовую долю хлорида натрия в растворе после электролиза.

*Решение.* Составляем уравнения реакций электролиза водного раствора хлорида натрия:



или



Определяем количество вещества выделившегося хлора:

$$n(\text{Cl}_2) = \frac{V(\text{Cl}_2)}{V_m}; \quad n(\text{Cl}_2) = \frac{2,24}{22,4} \text{ моль} = 0,1 \text{ моль.}$$

Из уравнения реакции электролиза следует:

$$n(\text{H}_2) = n(\text{Cl}_2); \quad n(\text{H}_2) = 0,1 \text{ моль};$$

$$\frac{n(\text{NaCl})}{n(\text{Cl}_2)} = \frac{2}{1}; \quad n(\text{NaCl}) = 2n(\text{Cl}_2); \quad n(\text{NaCl}) = 2 \cdot 0,1 \text{ моль} = 0,2 \text{ моль.}$$

Вычисляем массы образовавшихся хлора и водорода и прореагировавшего хлорида натрия:

$$m(\text{Cl}_2) = n(\text{Cl}_2) \cdot M(\text{Cl}_2); \quad m(\text{Cl}_2) = 0,1 \cdot 71 \text{ г} = 7,1 \text{ г};$$

$$m(\text{H}_2) = n(\text{H}_2) \cdot M(\text{H}_2); \quad m(\text{H}_2) = 0,1 \cdot 2 \text{ г} = 0,2 \text{ г};$$

$$m(\text{NaCl}) = n(\text{NaCl}) \cdot M(\text{NaCl}); \quad m(\text{NaCl}) = 0,2 \cdot 58,5 \text{ г} = 11,7 \text{ г.}$$

Масса хлорида натрия в растворе после электролиза  $m_2(\text{NaCl})$  равна:

$$m_2(\text{NaCl}) = m_1(\text{NaCl}) - m(\text{NaCl}); \quad m_2(\text{NaCl}) = (46,8 - 11,7) \text{ г} = 35,1 \text{ г,}$$

где  $m_1(\text{NaCl})$  — масса хлорида натрия в исходном растворе.

Масса раствора после электролиза (после удаления газообразных водорода и хлора) составляет:

$$m = m(\text{H}_2\text{O}) + m_1(\text{NaCl}) - m(\text{Cl}_2) - m(\text{H}_2); m = (400 + 46,8 - 7,1 - 0,2) \text{ г} = 439,5 \text{ г}.$$

Определяем массовую долю хлорида натрия в растворе после электролиза:

$$w(\text{NaCl}) = \frac{m_2(\text{NaCl})}{m}; w(\text{NaCl}) = \frac{35,1}{439,5} = 0,080, \text{ или } 8,0\%.$$

**8.18.** В водный раствор сульфата меди (II) поместили две медные пластинки массой по 10 г каждая. К электродам подключили источник постоянного тока. Через некоторое время пластинку, которая служила при электролизе анодом, растворили в концентрированной азотной кислоте, к раствору добавили избыток гидроксида натрия, получив гидроксид меди (II) массой 2,45 г. Чему равна масса катода после электролиза? *Ответ:* 11,6 г.

**8.19.** Раствор хлороводорода объемом 33,2 мл и плотностью 1,1 г/мл прореагировал с аммиаком объемом 4,48 л, измеренным при нормальных условиях. Определите массовую долю хлороводорода в исходном растворе. *Ответ:* 20%.

**8.20.** В раствор массой 200 г с массовой долей бромида калия 11,9% поместили инертные электроды. Через некоторое время получили бром массой 1,6 г. Считая, что бром удален из раствора, определите массовую долю бромида калия в растворе после электролиза. *Ответ:* 10,8%.

## Часть II. НЕОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

### 9. ВОДОРОД. ГАЛОГЕНЫ

#### Водород. Вода

9.1. Какой объем водорода можно получить действием металлов на раствор объемом 150 мл с массовой долей серной кислоты 20%? Объем рассчитайте при нормальном давлении и температуре 30° С. Плотность раствора кислоты равна 1,14 г/мл. *Ответ:* 8,68 л.

9.2. Какой объем водорода, измеренный при нормальных условиях, выделится при действии на алюминий массой 32,4 г раствора объемом 200 мл с массовой долей гидроксида калия 30% и плотностью 1,29 г/мл? *Ответ:* 40,32 л.

9.3. Какой объем водорода, измеренный при нормальных условиях, потребуется для восстановления оксида меди (II), который получили при термическом разложении гидроксида меди (II) массой 19,6 г? *Ответ:* 4,48 л.

9.4. Некоторый элемент образует гидрид ЭН<sub>3</sub>, массовая доля водорода в котором равна 1,245%. Какой элемент образует гидрид. *Ответ:* уран.

9.5. При действии воды на гидрид металла массой 0,84 г выделится водород, объем которого при нормальных условиях составил 896 мл. Определите, гидрид какого элемента был взят, если известно, что этот элемент проявляет степень окисления +2.

*Решение.* Представляем формулу гидрида элемента в виде ЭН<sub>2</sub>. Его молярная масса составляет:

$$M(\text{ЭН}_2) = M(\text{Э}) + 2M(\text{H}); M(\text{ЭН}_2) = [M(\text{Э}) + 2] \text{ г/моль.}$$

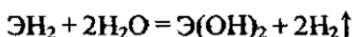
Определяем количество вещества гидрида, участвовавшего в реакции:

$$n(\text{ЭН}_2) = \frac{m(\text{ЭН}_2)}{M(\text{ЭН}_2)}; n(\text{ЭН}_2) = \frac{0,84}{M(\text{Э}) + 2} \text{ моль.}$$

Количество вещества водорода, выделившегося при разложении гидрида, составляет:

$$n(\text{H}_2) = \frac{V(\text{H}_2)}{V_m}; n(\text{H}_2) = \frac{0,896}{22,4} \text{ моль} = 0,04 \text{ моль.}$$

Записываем уравнение реакции взаимодействия гидрида с водой:



Из уравнения реакции следует:

$$\frac{n(\text{ЭH}_2)}{n(\text{H}_2)} = \frac{1}{2}$$

или

$$\frac{0,84}{M(\text{Э}) + 2} : 0,04 = \frac{1}{2},$$

откуда находим, что  $M(\text{Э}) = 40$  г/моль, следовательно, химический элемент, образующий гидрид, — кальций.

**9.6.** Водород сожгли в избытке кислорода. Объем газовой смеси, приведенный к нормальным условиям, уменьшился на 240 мл. Определите исходный объем водорода. Объем рассчитать при нормальных условиях. *Ответ:* 160 мл.

**9.7.** При взаимодействии щелочно-земельного металла массой 3,425 г с водой выделился водород объемом 560 мл (нормальные условия). Определите, какой металл взят для реакции. *Ответ:* барий.

**9.8.** Объемные доли газов в смеси составляют: водорода 20%, азота 45% и аргона 35%. Определите плотность газовой смеси по водороду.

*Решение.* Выбираем для расчетов образец газовой смеси, в котором суммарное количество вещества всех газов равно 1 моль, т.е.  $n = 1$  моль. Объем газовой смеси составляет:

$$V = nV_m.$$

Объем любого компонента смеси будет равен:

$$V(X) = V_{\Phi}(X) = nV_m\Phi(X),$$

а количество вещества компонента

$$n(X) = \frac{V(X)}{V_m} = \frac{nV_m\Phi(X)}{V_m} = n\Phi(X).$$

Используя полученное соотношение, находим количество вещества водорода в смеси:

$$n(\text{H}_2) = n\varphi(\text{H}_2); n(\text{H}_2) = 1 \cdot 0,2 \text{ моль} = 0,2 \text{ моль.}$$

Аналогично получаем  $n(\text{N}_2) = 0,45 \text{ моль}$ ,  $n(\text{Ar}) = 0,35 \text{ моль}$ .

Определяем массы газов:

$$m(\text{H}_2) = n(\text{H}_2) \cdot M(\text{H}_2); m(\text{H}_2) = 0,2 \cdot 2 \text{ г} = 0,4 \text{ г.}$$

Точно так же определяем, что  $m(\text{N}_2) = 12,6 \text{ г}$ ,  $m(\text{Ar}) = 14,0 \text{ г}$ .

Вычисляем массу газовой смеси:

$$m = m(\text{H}_2) + m(\text{N}_2) + m(\text{Ar}); m = (0,4 + 12,6 + 14,0) \text{ г} = 27,0 \text{ г.}$$

Средняя молярная масса газовой смеси равна:

$$M = \frac{m}{n}; M = \frac{27,0}{1} \text{ г/моль} = 27,0 \text{ г/моль.}$$

Определяем относительную плотность смеси по водороду:

$$D_{\text{H}_2} = \frac{M}{2}; D_{\text{H}_2} = \frac{27,0}{2} = 13,5.$$

**9.9.** Определите относительную плотность по водороду газовой смеси, состоящей из равных объемов водорода и гелия. *Ответ:* 3.

**9.10.** Газ, полученный при разложении гидрида натрия водой, пропустили над раскаленным оксидом меди (II). Масса твердого вещества уменьшилась на 4 г. Определите массу использованного гидрида натрия. *Ответ:* 6 г.

**9.11.** На нейтрализацию раствора, полученного при взаимодействии гидрида кальция с водой, затратили раствор объемом 43,67 мл с массовой долей хлороводорода 29,2% и плотностью 1,145 г/мл. Какой объем водорода, измеренный при нормальных условиях, выделился при разложении гидрида. *Ответ:* 8,96 л.

**9.12.** При разложении на свету раствора пероксида водорода массой 18,7 г выделился газ объемом 672 мл (нормальные условия). К оставшемуся раствору пероксида водорода добавили серной кислоты и избыток раствора иодида калия. При этом получили иод массой 12,7 г. Определите массовую долю пероксида водорода в исходном растворе. *Ответ:* 20%.

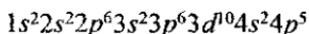
**9.13.** Какой объем раствора с массовой долей серной кислоты 15% и плотностью 1,1 г/мл надо взять для реакции с избытком

цинка, чтобы полученным водородом можно было восстановить оксид  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  массой 11,6 г до железа? Ответ: 118,8 мл.

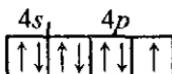
### Галогены

**9.14.** Составьте электронные формулы брома в степенях окисления 0; -1 и +3. Укажите распределение электронов внешнего энергетического уровня по орбиталям.

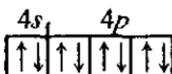
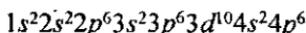
*Решение.* Бром — элемент № 35 — расположен в четвертом периоде в VII группе (главной подгруппе) периодической системы элементов Д.И. Менделеева. Электронная формула атома брома, соответствующая степени окисления 0, выглядит следующим образом:



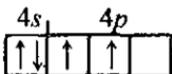
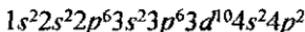
Распределение электронов внешнего энергетического уровня по орбиталям:



В степени окисления -1 атом брома имеет на один электрон больше, чем в степени окисления 0. Этот электрон располагается на  $4p$ -подуровне:



Переходя в степень окисления +3, атом брома отдает три электрона с  $4p$ -подуровня:

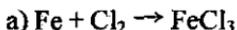


**9.15.** Напишите электронные и графические электронные формулы хлора в степенях окисления -1; 0; +1; +3; +5 и +7

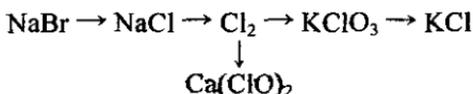
**9.16.** В каких степенях окисления атом иода будет иметь такую же электронную формулу, как и атомы благородных газов крипто-

на и ксенона? *Ответ:* электронная формула атома криптона идентична формуле  $\overset{+7}{\text{I}}$ , а ксенона  $\overset{-1}{\text{I}}$ .

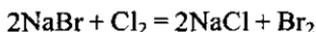
9.17. Подберите коэффициенты в схемах окислительно-восстановительных реакций методом электронного баланса. Определите, какие хлорсодержащие вещества проявляют свойства восстановителей, а какие — окислителей:



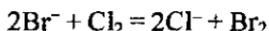
9.18. Напишите уравнения реакций, которые нужно провести для осуществления следующих превращений:



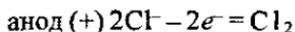
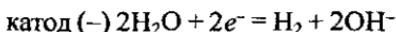
*Решение.* 1. Хлорид натрия можно получить из бромида натрия, пропуская через его раствор газообразный хлор:



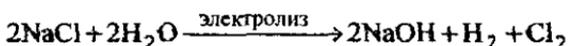
или



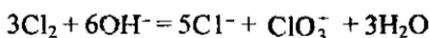
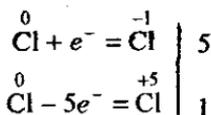
2. Хлор можно получить из хлорида натрия электролизом его раствора с инертными электродами. При этом на электродах протекают следующие процессы:



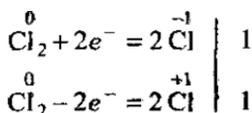
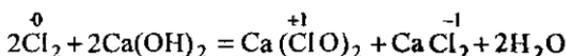
или



3. Хлорат калия  $\text{KClO}_3$  может быть получен при пропускании хлора в раствор гидроксида калия при нагревании:



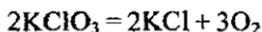
4. Гипохлорит кальция  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$  получают при взаимодействии хлора с гидроксидом кальция (гашеной известью):



или



5. Хлорид калия образуется при разложении хлората калия:



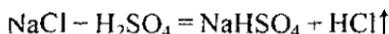
9.19. Напишите уравнения реакций, при помощи которых можно осуществить следующие превращения:



Уравнения реакций, протекающих в растворах, напишите в ионной и сокращенной ионной формах.

9.20. Хлороводород, полученный сульфатным способом из хлорида натрия массой 11,7 г, пропустили через раствор нитрата серебра. Получили осадок массой 20,09 г. Считая, что выход продукта второй реакции количественный, определите выход хлороводорода.

**Решение** При получении хлороводорода действием серной кислоты на хлорид натрия протекает реакция



Определяем количество вещества хлорида натрия, взятого для реакции:

$$n(\text{NaCl}) = \frac{m(\text{NaCl})}{M(\text{NaCl})}; n(\text{NaCl}) = \frac{11,7}{58,5} \text{ моль} = 0,2 \text{ моль.}$$

Из уравнения реакции следует:

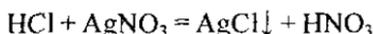
$$n(\text{HCl}) = n(\text{NaCl}); n(\text{HCl}) = 0,2 \text{ моль.}$$

Следовательно, при количественном выходе образовалось бы 0,2 моль хлороводорода.

Определяем массу хлороводорода количеством вещества 0,2 моль:

$$m(\text{HCl}) = n(\text{HCl}) \cdot M(\text{HCl}); m(\text{HCl}) = 0,2 \cdot 36,5 \text{ г} = 7,3 \text{ г.}$$

Реакция хлороводорода с нитратом серебра протекает в соответствии с уравнением



Определяем количество вещества хлорида серебра, выпавшего в осадок:

$$n(\text{AgCl}) = \frac{m(\text{AgCl})}{M(\text{AgCl})}; n(\text{AgCl}) = \frac{20,09}{143,5} \text{ моль} = 0,14 \text{ моль.}$$

Из уравнения реакции следует, что  $n(\text{AgCl}) = n_p(\text{HCl})$ , где  $n_p(\text{HCl})$  — реально полученное количество вещества HCl. Следовательно:

$$n_p(\text{HCl}) = 0,14 \text{ моль.}$$

Определяем массу реально полученного хлороводорода:

$$m_p(\text{HCl}) = n_p(\text{HCl}) \cdot M(\text{HCl}); m_p(\text{HCl}) = 0,14 \cdot 36,5 \text{ г} = 5,11 \text{ г.}$$

Рассчитываем выход продукта реакции, используя формулу (1.6):

$$\eta(\text{HCl}) = \frac{m_p(\text{HCl}) \cdot 100}{m(\text{HCl})}; \eta(\text{HCl}) = \frac{5,11 \cdot 100}{7,3} \% = 70\%.$$

**9.21** Какую массу оксида марганца (IV) и какой объем раствора с массовой долей HCl 36% и плотностью 1,18 г/мл надо взять для получения хлора, который может вытеснить из раствора иодида калия молекулярный иод массой 30,48 г? Принять, что выход продуктов на каждой из стадий процесса составляет 80% от теоретически возможного *Ответ:* 16,3 г MnO<sub>2</sub>; 64,4 мл раствора

**9.22.** Каменная соль одного из месторождений содержит хлорид натрия (массовая доля 96%), хлорид кальция (0,2%), хлорид магния (0,2%) и другие компоненты, не содержащие хлор. Какой объем соляной кислоты с массовой долей HCl 36% и плотностью 1,18 кг/л можно получить из образца каменной соли массой 5 кг? *Ответ* 7,08 л

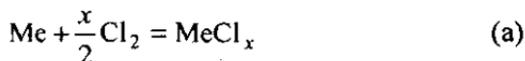
**9.23.** Имеется раствор массой 500 г, содержащий хлорид натрия и фторид натрия. К половине раствора прилили избыток раствора нитрата серебра, получив осадок массой 5,74 г. К другой половине раствора добавили избыток раствора хлорида кальция, в результате чего образовался осадок массой 2,34 г. Определите массовые доли хлорида натрия и фторида натрия в исходном растворе. *Ответ:* хлорид натрия — 0,94%, фторид натрия — 1,01%.

**9.24.** Весь хлороводород, полученный действием избытка серной кислоты на хлорид калия массой 14,9 г, поглотили водой массой 200 г. Определите массовую долю хлороводорода в растворе, если его выход в реакции составил 70%. *Ответ:* 2,5%.

**9.25.** В раствор хлорида калия погрузили электроды и пропустили электрический ток. В результате образовался раствор массой 200 г с массовой долей KOH 2,8%. Какое количество вещества молекулярного хлора выделилось при электролизе? *Ответ:* 0,05 моль.

**9.26.** Неизвестный металл массой 6,75 г соединяется с хлором, объем которого при нормальных условиях равен 8,4 л. Этот же металл может реагировать с иодом, причем в хлориде и иодиде он проявляет одну и ту же степень окисления. Какая масса иодида образуется при взаимодействии металла массой 6,75 г с иодом?

*Решение.* Представляем уравнения реакций металла с хлором и иодом в следующем виде:





Коэффициент  $x$  одинаков в обоих уравнениях реакций, так как металл в хлориде и иодиде проявляет одинаковую степень окисления.

Определяем количество вещества хлора, который взаимодействует с металлом массой 6,75 г:

$$n(\text{Cl}_2) = \frac{V(\text{Cl}_2)}{V_m}; n(\text{Cl}_2) = \frac{8,4}{22,4} \text{ моль} = 0,375 \text{ моль.}$$

Из уравнений реакций (а) и (б) следует, что исходные количества веществ металла в обеих реакциях одинаковы, и с ними будут реагировать одинаковые количества веществ галогенов, т.е.

$$n(\text{I}_2) = n(\text{Cl}_2); n(\text{I}_2) = 0,375 \text{ моль.}$$

Находим массу иода, вступившего в реакцию:

$$m(\text{I}_2) = n(\text{I}_2) \cdot M(\text{I}_2); m(\text{I}_2) = 0,375 \cdot 254 \text{ г} = 95,25 \text{ г.}$$

Масса полученного иодида металла суммируется из массы металла и массы иода, вступивших в реакцию:

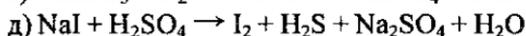
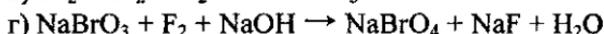
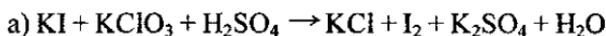
$$m(\text{MeI}_x) = m(\text{Me}) + m(\text{I}_2); m(\text{MeI}_x) = (6,75 + 95,25) \text{ г} = 102 \text{ г.}$$

**9.27.** Хлороводород, полученный из образца технического хлорида натрия массой 12 г, использовали для получения концентрированной соляной кислоты. Вся полученная кислота вступила в реакцию с оксидом марганца (IV). При этом образовался газ объемом 1,12 л (нормальные условия). Определите массовую долю NaCl в исходном образце. *Ответ:* 97,5%.

**9.28.** Остаток, полученный после термического разложения хлората калия  $\text{KClO}_3$  в присутствии оксида марганца (IV), растворили в воде. К раствору добавили избыток раствора нитрата серебра, получив осадок массой 57,4 г. Какой объем кислорода выделился при разложении  $\text{KClO}_3$ ? Объем рассчитайте при нормальных условиях. *Ответ:* 13,44 л.

**9.29.** Хлорат калия  $\text{KClO}_3$  массой 12,25 г подвергли разложению, причем образовался кислород, объем которого при нормальных условиях составил 336 мл. Определите массовую долю хлорида калия в сухом остатке после окончания реакции. *Ответ:* 6,33%.

9.30. Подберите коэффициенты в схемах окислительно-восстановительных реакций методом электронного баланса:

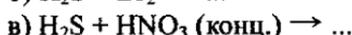
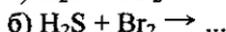
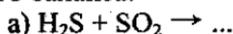


Напишите уравнения в сокращенной ионной форме.

## 10. ПОДГРУППА КИСЛОРОДА

10.1. Вычислите массовую долю серной кислоты в растворе, в котором массовая доля оксида серы (IV) равна 4%. *Ответ:* 4,9%.

10.2. Допишите схемы следующих окислительно-восстановительных реакций и подберите коэффициенты методом электронного баланса:



Укажите окислитель и восстановитель в реакциях.

10.3. Определите массовую долю кристаллизационной воды в медном купоросе. *Ответ:* 36%.

10.4. Вычислите, сколько выделится теплоты при сгорании серы массой 12 г, если известно, что энтальпия образования оксида серы (IV) из кислорода и серы равна  $-296,9$  кДж/моль.

*Решение.* Записываем термохимическое уравнение реакции горения серы:



Из термохимического уравнения следует, что при сгорании серы количеством вещества 1 моль [ $n(\text{S}) = 1$  моль] выделяется 296,9 кДж теплоты.

Определяем количество вещества сожженной серы массой 12 г:

$$n'(\text{S}) = \frac{m'(\text{S})}{M(\text{S})}; n'(\text{S}) = \frac{12}{32} \text{ моль} = 0,375 \text{ моль.}$$

При изменении количества вещества сжигаемой серы значение  $\Delta H$  пропорционально изменяется, т.е.

$$\frac{\Delta H'}{\Delta H} = \frac{n'(S)}{n(S)}$$

Отсюда получаем:

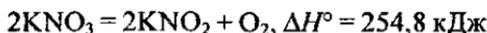
$$\Delta H' = \frac{n'(S)}{n(S)} \Delta H; \Delta H' = \frac{0,375}{1} (-296,9) \text{ кДж} = -111,3 \text{ кДж},$$

т.е. выделится 111,3 кДж теплоты.

**10.5.** Вычислите, какое количество теплоты выделится при сгорании теллура массой 0,8 г, если для  $\text{TeO}_2(\text{к})$   $\Delta H^\circ = -321,7$  кДж/моль.

*Ответ:* 2,0 кДж.

**10.6.** Какое количество теплоты поглотится при получении кислорода объемом 6,72 л (нормальные условия) по реакции

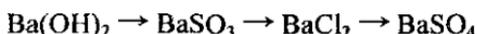


*Ответ:* 76,44 кДж.

**10.7.** Какой объем концентрированной серной кислоты плотностью 1,84 г/мл, в которой массовая доля кислоты составляет 98%, необходимо взять для полного растворения меди массой 8 г? Какой объем оксида серы (IV), измеренный при нормальных условиях, выделится при этом? *Ответ:* объем раствора 13,6 мл; объем газа 2,8 л.

**10.8.** Какой объем сероводорода, измеренный при нормальных условиях, можно получить из технического сульфида железа массой 3 кг, в котором массовая доля FeS составляет 95%? *Ответ:* 725 л.

**10.9.** Как осуществить следующие превращения:



Напишите уравнения соответствующих реакций в молекулярной и ионной формах.

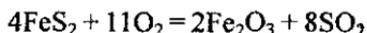
**10.10.** Напишите уравнения реакций, которые надо провести для осуществления следующих превращений:



**10.11.** Какой объем сероводорода, измеренный при нормальных условиях, надо растворить в воде массой 300 г для получения раствора сероводородной кислоты с массовой долей  $\text{H}_2\text{S}$  1,2%? *Ответ:* 2,4 л.

**10.12.** Какой объем оксида серы (IV), измеренный при температуре 27 °С и давлении 98,5 кПа, образуется при обжиге пирита массой 30 г, который кроме дисульфида железа FeS<sub>2</sub> содержит примеси, не образующие при обжиге SO<sub>2</sub>? Массовая доля примесей в пирите составляет 20%.

*Решение.* Записываем уравнение реакции обжига дисульфида железа:



Массовая доля примесей в пирите составляет 20%, следовательно, массовая доля FeS<sub>2</sub> составляет 80%, или 0,8. Определяем массу дисульфида железа в пирите:

$$m(\text{FeS}_2) = m(\text{пирита}) \cdot w(\text{FeS}_2); m(\text{FeS}_2) = 30 \cdot 0,8 \text{ г} = 24 \text{ г}.$$

Определяем количество вещества дисульфида железа:

$$n(\text{FeS}_2) = \frac{m(\text{FeS}_2)}{M(\text{FeS}_2)}; n(\text{FeS}_2) = \frac{24}{120} \text{ моль} = 0,2 \text{ моль}.$$

Из уравнения реакции следует:

$$\frac{n(\text{SO}_2)}{n(\text{FeS}_2)} = \frac{8}{4} = 2.$$

Отсюда получаем:

$$n(\text{SO}_2) = 2n(\text{FeS}_2); n(\text{SO}_2) = 2 \cdot 0,2 \text{ моль} = 0,4 \text{ моль}.$$

Вычисляем объем образовавшегося оксида серы (IV) при нормальных условиях:

$$V_{\text{H}}(\text{SO}_2) = n(\text{SO}_2) \cdot V_m; V_{\text{H}}(\text{SO}_2) = 0,4 \cdot 22,4 \text{ л} = 8,96 \text{ л}.$$

Используя формулу (1.4), находим объем газа при указанных в задаче условиях, учитывая, что  $T = (273 + 27)\text{K} = 300 \text{ K}$ :

$$V(\text{SO}_2) = \frac{p_{\text{H}}TV_{\text{H}}(\text{SO}_2)}{pT_{\text{H}}}; V(\text{SO}_2) = \frac{101,3 \cdot 300 \cdot 8,96}{98,5 \cdot 273} \text{ л} = 10,1 \text{ л}.$$

**10.13.** При взаимодействии раствора серной кислоты массой 16 г с избытком раствора хлорида бария выделился осадок массой 5,7 г. Определите массовую долю серной кислоты в исходном растворе. *Ответ:* 15%.

10.14. Какой объем кислорода, измеренный при температуре 18 °С и давлении 100 кПа, потребуется для сжигания сероводорода массой 5 г? *Ответ:* 5,3 л.

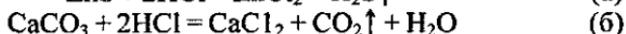
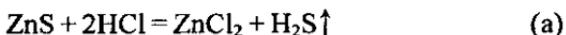
10.15. При растворении серебра в избытке концентрированной серной кислоты при нагревании выделился оксид серы (IV) объемом 10 мл (нормальные условия). Определите массу растворенного серебра. *Ответ:* 0,096 г.

10.16. Какой объем воздуха и какую массу воды надо взять для превращения оксида серы (IV) объемом 10 л (нормальные условия) в серную кислоту? Объемная доля кислорода в воздухе составляет 20,95%, массовая доля — 23,1%. *Ответ:* воздух — 23,9 л; вода — 8,04 г.

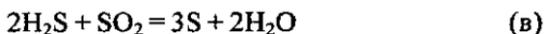
10.17. Какую массу раствора с массовой долей серной кислоты 70% можно получить из пирита массой 200 кг, содержащего FeS<sub>2</sub> и посторонние примеси? Массовая доля примесей в пирите составляет 10%, а выход серной кислоты — 80%. *Ответ:* 336 кг.

10.18. На смесь сульфида цинка, хлорида натрия и карбоната кальция массой 80 г подействовали избытком соляной кислоты. При этом образовалась смесь газов объемом 13,44 л (нормальные условия). При взаимодействии этой газовой смеси с избытком оксида серы (IV) образовалось твердое вещество массой 19,2 г. Определите массовые доли веществ в исходной смеси.

*Решение.* Соляная кислота реагирует с сульфидом цинка и карбонатом кальция, содержащимися в смеси:



Таким образом, смесь газов составляют сероводород и оксид углерода (IV). С оксидом серы (IV) из этих газов реагирует сероводород, образуя твердое вещество — серу:



Определяем количество вещества полученной серы:

$$n(\text{S}) = \frac{m(\text{S})}{M(\text{S})}; n(\text{S}) = \frac{19,2}{32} \text{ моль} = 0,6 \text{ моль.}$$

На основании уравнения реакции (в) записываем:

$$\frac{n(\text{H}_2\text{S})}{N(\text{S})} = \frac{2}{3}.$$

Отсюда определяем количество вещества сероводорода, который получен в результате реакции (а):

$$n(\text{H}_2\text{S}) = \frac{2}{3} n(\text{S}); n(\text{H}_2\text{S}) = \frac{2}{3} 0,6 \text{ моль} = 0,4 \text{ моль.}$$

Этот газ при нормальных условиях занимает следующий объем:

$$V(\text{H}_2\text{S}) = n(\text{H}_2\text{S}) \cdot V_m; V(\text{H}_2\text{S}) = 0,4 \cdot 22,4 \text{ л} = 8,96 \text{ л.}$$

Рассчитываем объем оксида углерода (IV) в газовой смеси:

$$V(\text{CO}_2) = V - V(\text{H}_2\text{S}); V(\text{CO}_2) = (13,44 - 8,96) \text{ л} = 4,48 \text{ л,}$$

где  $V$  — объем полученной газовой смеси.

Количество вещества  $\text{CO}_2$  составляет:

$$n(\text{CO}_2) = \frac{V(\text{CO}_2)}{V_m}; n(\text{CO}_2) = \frac{4,48}{22,4} \text{ моль} = 0,2 \text{ моль.}$$

Из уравнения (а) следует:

$$\frac{n(\text{ZnS})}{n(\text{H}_2\text{S})} = \frac{1}{1}; n(\text{ZnS}) = n(\text{H}_2\text{S}); n(\text{ZnS}) = 0,4 \text{ моль.}$$

Из уравнения (б) вытекает:

$$\frac{n(\text{CaCO}_3)}{n(\text{CO}_2)} = \frac{1}{1}; n(\text{CaCO}_3) = n(\text{CO}_2); n(\text{CaCO}_3) = 0,2 \text{ моль.}$$

Определяем массы веществ в исходной смеси:

$$m(\text{ZnS}) = n(\text{ZnS}) \cdot M(\text{ZnS}); m(\text{ZnS}) = 0,4 \cdot 97 \text{ г} = 38,8 \text{ г;}$$

$$m(\text{CaCO}_3) = n(\text{CaCO}_3) \cdot M(\text{CaCO}_3); m(\text{CaCO}_3) = 0,2 \cdot 100 \text{ г} = 20 \text{ г;}$$

$$m(\text{NaCl}) = m(\text{смеси}) - m(\text{ZnS}) - m(\text{CaCO}_3);$$

$$m(\text{NaCl}) = (80 - 38,8 - 20) \text{ г} = 21,2 \text{ г.}$$

Вычисляем массовые доли веществ в смеси:

$$w(\text{ZnS}) = \frac{m(\text{ZnS})}{m(\text{смеси})}; w(\text{ZnS}) = \frac{38,8}{80} = 0,485;$$

$$w(\text{CaCO}_3) = \frac{m(\text{CaCO}_3)}{m(\text{смеси})}; w(\text{CaCO}_3) = \frac{20}{80} = 0,25;$$

$$w(\text{NaCl}) = \frac{m(\text{NaCl})}{m(\text{смеси})}; w(\text{NaCl}) = \frac{21,2}{80} = 0,265.$$

10.19. При прокаливании смеси хлората калия  $\text{KClO}_3$  и хлорида калия  $\text{KCl}$  массой 50 г выделился газ объемом 6,72 л (нормальные условия). Определите массовую долю  $\text{KCl}$  в исходной смеси солей. *Ответ:* 51%.

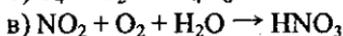
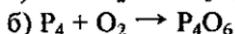
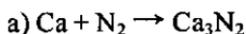
10.20. Имеется смесь сульфида натрия, сульфата натрия и хлорида натрия массой 20 г. Смесь растворили в воде. К половине полученного раствора добавили избыток раствора сульфата меди (II); при этом образовался осадок массой 4,8 г. При добавлении к другой половине раствора избытка хлорида бария образовался осадок массой 4,66 г. Определите массовые доли солей в исходной смеси. *Ответ:* 39,0%  $\text{NaS}$ ; 29,3%  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ; 31,7%  $\text{NaCl}$ .

## 11. ПОДГРУППА АЗОТА

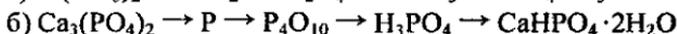
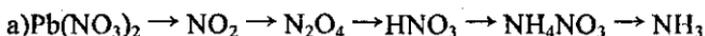
11.1. Определите массовую долю азота в следующих соединениях: а)  $\text{NO}$ ; б)  $\text{NO}_2$ ; в)  $\text{HNO}_3$ ; г)  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ . В каком она наибольшая? *Ответ:* а) 46,7%; б) 30,4%; в) 22,2%; г) 35%.

11.2. Какая масса аммиака потребуется для получения азотной кислоты массой 12,6 т, учитывая, что потери в производстве составляют 5%. *Ответ:* 3,58 т.

11.3. Методом электронного баланса подберите коэффициенты в схемах следующих окислительно-восстановительных реакций:



11.4. Напишите уравнения реакций, которые необходимо провести для осуществления следующих превращений:



11.5. Аммиак объемом 20 л (нормальные условия) растворили в воде массой 400 г. Определите массовую долю аммиака в растворе. *Ответ:* 3,7%.

11.6. Определите массу азота, который при температуре 20 °С и давлении  $1,4 \cdot 10^5$  Па занимает объем 10 л. *Ответ:* 16,1 г.

**11.7.** Массовая доля азота в удобрении составляет 14%. Весь азот входит в удобрение в составе мочевины  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ . Вычислите массовую долю мочевины в этом удобрении.

*Решение.* Выбираем для расчетов образец удобрения массой 100 г, т.е.  $m$  (удобрения) = 100 г. Определяем массу азота в этом образце:

$$m(\text{N}) = m(\text{удобрения}) \cdot w(\text{N}); m(\text{N}) = 100 \cdot 0,14 \text{ г} = 14 \text{ г}.$$

Количество вещества азота составляет:

$$n(\text{N}) = \frac{m(\text{N})}{M(\text{N})}; n(\text{N}) = \frac{14}{14} \text{ моль} = 1 \text{ моль}.$$

Из формулы мочевины  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  следует:

$$n(\text{CO}(\text{NH}_2)_2) = \frac{n(\text{N})}{2}; n(\text{CO}(\text{NH}_2)_2) = \frac{1}{2} \text{ моль} = 0,5 \text{ моль}.$$

Находим массу мочевины:

$$m(\text{CO}(\text{NH}_2)_2) = n(\text{CO}(\text{NH}_2)_2) \cdot M(\text{CO}(\text{NH}_2)_2); m(\text{CO}(\text{NH}_2)_2) = 0,5 \cdot 60 \text{ г} = 30 \text{ г}.$$

Определяем массовую долю мочевины в образце:

$$w(\text{CO}(\text{NH}_2)_2) = \frac{m(\text{CO}(\text{NH}_2)_2)}{m(\text{удобрения})}; w(\text{CO}(\text{NH}_2)_2) = \frac{30}{100} = 0,3, \text{ или } 30\%.$$

**11.8.** Фосфорсодержащий компонент удобрений — дигидрофосфат кальция  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ . Определите массовую долю этого вещества в удобрении, если массовая доля фосфора составляет 18,6%. *Ответ:* 69,6%.

**11.9.** Какая масса хлорида аммония образуется при взаимодействии хлороводорода массой 7,3 г с аммиаком массой 5,1 г? Какой газ останется в избытке? Определите массу избытка. *Ответ:* 10,7 г; избыток аммиака 1,7 г.

**11.10.** Какой объем кислорода при температуре 60 °С и давлении 96 кПа требуется для реакции с фосфором массой 6,2 г? *Ответ:* 7,2 л.

**11.11.** Какая масса оксида фосфора (V) образуется при полном сгорании фосфина  $\text{PH}_3$ , полученного из фосфида кальция  $\text{Ca}_3\text{P}_2$  массой 18,2 г? *Ответ:* 14,2 г.

**11.12.** Напишите уравнения взаимодействия концентрированной азотной кислоты с магнием и цинком. На какие металлы эта кислота не действует?

**11.13.** Вычислите, какая масса кальциевой селитры, используемой в качестве удобрения, может быть получена из гидроксида кальция массой 148 г, в которой массовая доля посторонних примесей составляет 8%. *Ответ:* 301,8 кг.

**11.14.** Определите массовую долю оксида фосфора (V) в преципитате  $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . *Ответ:* 41,2%.

**11.15.** В образце суперфосфата массовая доля оксида фосфора (V) составляет 20%. Вычислите массовую долю  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  в удобрении. *Ответ:* 33%.

**11.16.** При нагревании соли массой 12,8 г образуются вода массой 7,2 г и азот объемом 4,48 л (нормальные условия). Определите формулу соли, если ее молярная масса равна 64 г/моль.

*Решение.* Определяем количество вещества образовавшегося азота:

$$n(\text{N}_2) = \frac{V(\text{N}_2)}{V_m}; n(\text{N}_2) = \frac{4,48}{22,4} \text{ моль} = 0,2 \text{ моль.}$$

Вычисляем количество вещества атомного азота, содержащегося в образце исходного вещества:

$$n(\text{N}) = 2n(\text{N}_2); n(\text{N}) = 2 \cdot 0,2 \text{ моль} = 0,4 \text{ моль.}$$

Определяем количество вещества полученной воды:

$$n(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{M(\text{H}_2\text{O})}; n(\text{H}_2\text{O}) = \frac{7,2}{18} \text{ моль} = 0,4 \text{ моль.}$$

Количества веществ атомных водорода и кислорода, которые содержались в образце соли, составляют:

$$n(\text{H}) = 2n(\text{H}_2\text{O}); n(\text{H}) = 2 \cdot 0,4 \text{ моль} = 0,8 \text{ моль}; \\ n(\text{O}) = n(\text{H}_2\text{O}); n(\text{O}) = 0,4 \text{ моль.}$$

Находим соотношение между количествами веществ атомных азота, водорода и кислорода в соединении:

$$n(\text{N}) : n(\text{H}) : n(\text{O}) = 0,4 : 0,8 : 0,4 = 1 : 2 : 1$$

или

$$\frac{n(\text{N})}{n(\text{H})} = \frac{1}{2}; \quad (\text{а})$$

$$\frac{n(\text{H})}{n(\text{O})} = 2. \quad (\text{б})$$

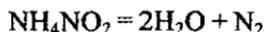
Зная, что молярная масса вещества равна 64 г/моль, получаем:

$$M(\text{соли}) = n(\text{N}) \cdot M(\text{N}) + n(\text{H}) \cdot M(\text{H}) + n(\text{O}) \cdot M(\text{O})$$

или

$$64 = 14n(\text{N}) + n(\text{H}) + 16n(\text{O}) \quad (\text{в})$$

Решая систему уравнений (а), (б) и (в), находим, что  $n(\text{N}) = 2$  моль,  $n(\text{H}) = 4$  моль,  $n(\text{O}) = 2$  моль, т.е. формула соединения  $\text{N}_2\text{H}_4\text{O}_2$  или  $\text{NH}_4\text{NO}_2$ . При нагревании этой соли образуются азот и вода:



**11.17.** Определите простейшую формулу вещества, если массовые доли составляющих его элементов равны: кислорода 56,47%, азота 16,47% и натрия 27,06%. Какой объем газа выделится при нагревании этого вещества массой 340 г? Объем рассчитайте при нормальных условиях. *Ответ:*  $\text{NaNO}_3$ ; 44,8 л.

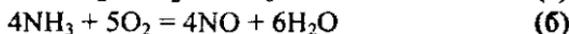
**11.18.** Из природного фосфорита массой 310 кг получили фосфорную кислоту массой 195 кг. Вычислите массовую долю  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  в природном фосфорите. *Ответ:* 99,5%.

**11.19.** Водный раствор, содержащий фосфорную кислоту массой 19,6 г, нейтрализовали гидроксидом кальция массой 18,5 г. Определите массу образовавшегося преципитата  $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . *Ответ:* 34,4 г.

**11.20.** В закрытом сосуде смешаны оксид азота (II) массой 30 г и кислород массой 20 г. Вычислите массу получившегося оксида азота (IV). Какой газ останется в избытке? Какова избыточная масса этого газа? *Ответ:* оксид азота (IV) — 46 г; избыток  $\text{O}_2$  — 4 г.

**11.21.** Из азота объемом 67,2 л и водорода объемом 224 л образовался аммиак (объемы газов приведены к нормальным условиям). Используя этот аммиак, получили раствор объемом 400 мл с массовой долей азотной кислоты 40% и плотностью 1,25 г/мл. Определите выход продукта реакции.

*Решение.* Составляем уравнения реакций получения аммиака и азотной кислоты:



Определяем количества веществ молекулярных азота и водорода, взятых для реакции:

$$n(\text{N}_2) = \frac{V(\text{N}_2)}{V_m}; n(\text{N}_2) = \frac{67,2}{22,4} \text{ моль} = 3 \text{ моль};$$

$$n(\text{H}_2) = \frac{V(\text{H}_2)}{V_m}; n(\text{H}_2) = \frac{224}{22,4} \text{ моль} = 10 \text{ моль}.$$

Из уравнения реакции (а) следует, что

$$\frac{n(\text{N}_2)}{n(\text{H}_2)} = \frac{1}{3}.$$

Следовательно, водород взят для реакции в избытке.

Из уравнений реакций (а) — (г) следует:

$$\frac{n(\text{N}_2)}{n(\text{NH}_3)} = \frac{1}{2}; \frac{n(\text{NH}_3)}{n(\text{NO})} = \frac{4}{4} = 1; \frac{n(\text{NO})}{n(\text{NO}_2)} = \frac{2}{2} = 1; \frac{n(\text{NO}_2)}{n(\text{HNO}_3)} = \frac{4}{4} = 1.$$

Откуда получаем:

$$\frac{n(\text{HNO}_3)}{n(\text{N}_2)} = 2; n(\text{HNO}_3) = 2n(\text{N}_2); n(\text{HNO}_3) = 2 \cdot 3 \text{ моль} = 6 \text{ моль}.$$

Определяем массу азотной кислоты, которую можно было бы получить при количественном выходе:

$$m(\text{HNO}_3) = n(\text{HNO}_3) \cdot M(\text{HNO}_3); m(\text{HNO}_3) = 6 \cdot 63 \text{ г} = 378 \text{ г}.$$

Находим массу полученного раствора кислоты:

$$m = V\rho; m = 400 \cdot 1,25 \text{ г/мл} = 500 \text{ г}.$$

Вычисляем массу реально полученной  $\text{HNO}_3$ , содержащуюся в этом растворе:

$$m_p(\text{HNO}_3) = m w(\text{HNO}_3); m_p(\text{HNO}_3) = 500 \cdot 0,4 \text{ г} = 200 \text{ г}.$$

Определяем выход продукта:

$$\eta(\text{HNO}_3) = \frac{m_p(\text{HNO}_3) \cdot 100}{m(\text{HNO}_3)}; \eta(\text{HNO}_3) = \frac{200 \cdot 100}{378} \% = 52,9\%.$$

11.22. Аммиак объемом 7,84 л (нормальные условия) подвергли каталитическому окислению и дальнейшему превращению в азотную кислоту. В результате получили раствор массой 200 г. Считая выход  $\text{HNO}_3$  равным 40%, определите массовую долю ее в полученном растворе. *Ответ:* 4,41%.

11.23. В почву под плодовое дерево необходимо внести оксид фосфора (V) массой 0,4 кг. Какую массу суперфосфата надо взять в этом случае, если массовая доля усвояемого оксида фосфора (V) в нем равна 20%? *Ответ:* 2 кг.

11.24. Вычислите, какую массу сульфата аммония следует взять, чтобы внести в почву азот массой 0,5 т на площадь 1 га. *Ответ:* 2,357 т.

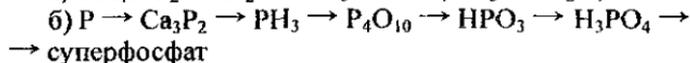
11.25. Какую массу нитрата аммония следует внести на площадь в 100 га, если масса внесенного азота на площадь 1 га должна составлять 60 кг? *Ответ:* 17,1 т.

11.26. Под плодовое дерево необходимо внести аммонийную селитру массой 140 г с массовой долей азота 35%. Какую массу сульфата аммония надо взять, чтобы внести то же количество азота? *Ответ:* 231 г.

11.27. Какую массу раствора с массовой долей фосфорной кислоты 40% можно получить из фосфорита массой 100 кг с массовой долей  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  93%? *Ответ:* 147 кг.

11.28. При пропускании избытка аммиака через раствор массой 600 г с массовой долей азотной кислоты 42% получили нитрат аммония массой 300 г. Определите выход нитрата аммония. *Ответ:* 93,75%.

11.29. Составьте уравнения реакций, с помощью которых можно осуществить следующие превращения:



11.30. На смесь меди и оксида меди (II) массой 75 г подействовали избытком концентрированной азотной кислоты. При этом образовался газ объемом 26,88 л (нормальные условия). Определите массовую долю оксида меди (II) в исходной смеси. *Ответ:* 48,8%.

## 12. ПОДГРУППА УГЛЕРОДА

12.1. С помощью каких реакций можно осуществить следующие превращения:



Напишите уравнения соответствующих реакций.

12.2. При полном разложении водой карбида кальция массой 2 кг выделился ацетилен объемом 560 л (нормальные условия). Вычислите массовую долю  $CaC_2$  в исходном образце карбида кальция. *Ответ:* 80%.

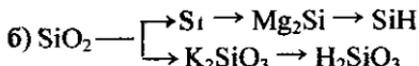
12.3. Массовая доля воды в кристаллогидрате  $Na_2CO_3 \cdot xH_2O$  составляет 62,94%. Определите  $x$ . *Ответ:* 10.

12.4. Состав минерала асбеста можно выразить формулой  $3MgSiO_3 \cdot CaSiO_3$ . Определите массовую долю оксида кремния (IV) в асбесте. *Ответ:* 57,68%.

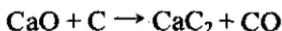
12.5. Массовые доли элементов в минерале изумруда равны: 5,06% Be, 10,05% Al, 31,49% Si и 53,40% O. Определите формулу минерала и представьте ее в виде соединения оксидов металлов. *Ответ:*  $3BeO \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$ .

12.6. Какую массу известняка с массовой долей карбоната кальция 80% надо взять, чтобы получить оксид углерода (IV) объемом 112 л (нормальные условия). *Ответ:* 625 г.

12.7. Представьте с помощью химических уравнений следующие превращения:



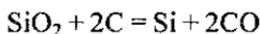
12.8. В промышленности карбид кальция получают по схеме



Вычислите, сколько потребуется оксида кальция для получения карбида кальция массой 3,2 т. Какой объем оксида углерода (II), измеренный при нормальных условиях, выделится при этом? *Ответ:*  $CaO$  — 2,8 т;  $CO$  — 1120 м<sup>3</sup>.

12.9. Вычислите, какой объем оксида углерода (IV), измеренный при нормальных условиях, можно получить из известняка массой 2 т, в котором массовая доля  $CaCO_3$  составляет 95%. *Ответ:* 425,6 м<sup>3</sup>.

**12.10.** В качестве восстановителя для получения кремния часто применяют кокс. Уравнение процесса:



Какую массу оксида кремния (IV) можно восстановить с помощью кокса массой 40 кг, если массовая доля углерода в коксе составляет 90%? *Ответ:* 90 кг.

**12.11.** При действии избытка соляной кислоты на карбонат кальция массой 25 г получили оксид углерода (IV) массой 10 г. Определите выход продукта. *Ответ:* 90,9%.

**12.12.** Рассчитайте массу карбоната натрия, получающегося при пропускании оксида углерода (IV) массой 0,88 г через раствор массой 10 г с массовой долей гидроксида натрия 20%. *Ответ:* 2,12 г.

**12.13.** Вычислите массу оксида углерода (IV), который можно получить при взаимодействии карбоната кальция массой 7 г с раствором соляной кислоты массой 30 г, в котором массовая доля HCl равна 20%. *Ответ:* 3,08 г.

**12.14.** Смесь оксида углерода (IV) и азота занимает при нормальных условиях объем 4,032 л. Массовые доли газов в ней равны. Какая соль образуется при пропускании этой смеси объемом 2 л через раствор массой 20 г с массовой долей гидроксида натрия 28%?

*Решение.* Определяем общее количество вещества газовой смеси:

$$n(\text{смеси}) = \frac{V(\text{смеси})}{V_m}; n(\text{смеси}) = \frac{4,032}{22,4} \text{ моль} = 0,18 \text{ моль.}$$

Вычисляем массу и количество вещества оксида углерода (IV) в смеси, приняв, что масса смеси равна  $m$ , и учитывая, что  $w(\text{CO}_2) = w(\text{N}_2) = 0,5$ :

$$m(\text{CO}_2) = w(\text{CO}_2) \cdot m; m(\text{CO}_2) = 0,5 m;$$

$$n(\text{CO}_2) = \frac{m(\text{CO}_2)}{M(\text{CO}_2)}; n(\text{CO}_2) = \frac{0,5 m}{44}.$$

Аналогично получаем:

$$m(\text{N}_2) = w(\text{N}_2) \cdot m; m(\text{N}_2) = 0,5 m;$$

$$n(\text{N}_2) = \frac{m(\text{N}_2)}{M(\text{N}_2)}; n(\text{N}_2) = \frac{0,5 m}{28}.$$

Так как

$$n(\text{смеси}) = n(\text{N}_2) + n(\text{CO}_2),$$

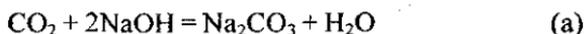
получаем

$$\frac{0,5m}{28} + \frac{0,5m}{44} = 0,18.$$

Отсюда находим массу смеси газов:

$$m = 6,16 \text{ г.}$$

При пропускании смеси через раствор гидроксида натрия возможна одна из реакций: если  $\text{CO}_2$  в недостатке —



если  $\text{CO}_2$  в избытке —



Определяем количество вещества  $\text{CO}_2$ , содержащегося в смеси:

$$n(\text{CO}_2) = \frac{0,5m}{44}; n(\text{CO}_2) = \frac{0,5 \cdot 6,16}{44} \text{ моль} = 0,07 \text{ моль.}$$

Рассчитываем массу и количество вещества  $\text{NaOH}$  в растворе:  
 $m(\text{NaOH}) = m(\text{раствора}) \cdot w(\text{NaOH}); m(\text{NaOH}) = 20 \cdot 0,28 \text{ г} = 5,6 \text{ г};$

$$n(\text{NaOH}) = \frac{m(\text{NaOH})}{M(\text{NaOH})}; n(\text{NaOH}) = \frac{5,6}{40} \text{ моль} = 0,14 \text{ моль.}$$

Получаем

$$\frac{n(\text{CO}_2)}{n(\text{NaOH})} = \frac{0,07}{0,14} = \frac{1}{2},$$

что соответствует уравнению реакции (а), следовательно, будет образовываться средняя соль — карбонат натрия.

**12.15.** При пропускании воздуха объемом  $2 \text{ м}^3$  (нормальные условия) через раствор гидроксида кальция образовался карбонат кальция массой  $3 \text{ г}$ . Определите объемную долю оксида углерода (IV) в воздухе. *Ответ:*  $0,0336\%$ .

12.16. При сжигании смеси газов CO и CO<sub>2</sub> объемом 48 мл в избытке кислорода объем смеси уменьшился на 6 мл. Вычислите массовую долю оксида углерода (II) в исходной смеси. Все объемы приведены к нормальным условиям.

*Решение.* При сжигании данной смеси с кислородом реагирует только оксид углерода (II):



Так как все газы одинаковым количеством вещества при одинаковых условиях занимают постоянный объем, то уменьшение объема смеси на 6 мл означает, что в реакцию вступил кислород объемом 6 мл (нормальные условия). Определяем объем, количество вещества и массу CO в смеси:

$$\frac{V(\text{CO})}{V(\text{O}_2)} = \frac{2}{1}; V(\text{CO}) = 2V(\text{O}_2); V(\text{CO}) = 2 \cdot 6 \text{ мл} = 12 \text{ мл} = 0,012 \text{ л};$$

$$n(\text{CO}) = \frac{V(\text{CO})}{V_m}; n(\text{CO}) = \frac{0,012}{22,4} \text{ моль} = 5,36 \cdot 10^{-4} \text{ моль};$$

$$m(\text{CO}) = n(\text{CO}) \cdot M(\text{CO}); m(\text{CO}) = 5,36 \cdot 10^{-4} \cdot 28 \text{ г} = 0,015 \text{ г}.$$

Вычисляем объем, количество вещества и массу CO<sub>2</sub> в смеси:

$$V(\text{CO}_2) = V(\text{смеси}) - V(\text{CO}); V(\text{CO}_2) = (48 - 12) \text{ мл} = 36 \text{ мл} = 0,036 \text{ л};$$

$$n(\text{CO}_2) = \frac{V(\text{CO}_2)}{V_m}; n(\text{CO}_2) = \frac{0,036}{22,4} \text{ моль} = 1,608 \cdot 10^{-3} \text{ моль};$$

$$m(\text{CO}_2) = n(\text{CO}_2) \cdot M(\text{CO}_2); m(\text{CO}_2) = 1,608 \cdot 10^{-3} \cdot 44 \text{ г} = 0,071 \text{ г}.$$

Массовая доля оксида углерода (II) в газовой смеси составляет:

$$w(\text{CO}) = \frac{m(\text{CO})}{m(\text{CO}) + m(\text{CO}_2)}; w(\text{CO}) = \frac{0,015}{0,015 + 0,071} = 0,174, \text{ или } 17,4\%.$$

12.17. Какая соль образуется при пропускании всего оксида углерода (IV), получившегося при сжигании метана объемом 2,24 л (нормальные условия), через раствор объемом 19,1 мл с массовой долей гидроксида натрия 32% и плотностью 1,35 г/мл? Определите массовую долю соли в полученном растворе. *От- вет:* Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>; 35%.

12.18. Какую массу поташа с массовой долей  $K_2CO_3$  80%, мела с массовой долей  $CaCO_3$  90% и песка с массовой долей  $SiO_2$  95% надо взять для получения стекла состава  $K_2O \cdot CaO \cdot 6SiO_2$  массой 300 кг? *Ответ:* 101,5 кг поташа; 65,4 кг мела; 222,9 кг песка.

12.19. Смесь солей карбоната натрия, нитрата натрия и сульфата натрия массой 41,8 г обработали при нагревании серной кислотой массой 98 г с массовой долей  $H_2SO_4$  10%. При этом выделился газ объемом 2,24 л (нормальные условия). При последующем добавлении в полученный раствор хлорида бария выпал осадок массой 46,6 г. Определите массы солей в исходной смеси. *Ответ:* 10,6 г  $Na_2CO_3$ ; 17 г  $NaNO_3$ ; 14,2 г  $Na_2SO_4$ .

12.20. Газ, который получили действием избытка раствора соляной кислоты на карбонат кальция массой 40 г, поглотили раствором гидроксида натрия. В результате образовался карбонат натрия. Вычислите объем раствора с массовой долей гидроксида натрия 20% и плотностью 1,22 г/мл, который израсходовали на поглощение образовавшегося газа. *Ответ:* 131,15 мл.

12.21. При сплавлении природного известняка массой 150 г с оксидом кремния (IV) образовался силикат кальция массой 145 г. Определите массовую долю карбоната кальция в природном известняке. *Ответ:* 83,3%.

12.22. При прокаливании известняка массой 54 г потеря массы составила 22 г. Вычислите массовую долю карбоната кальция в известняке. *Ответ:* 92,6%.

12.23. При нагревании смеси оксида кальция массой 19,6 г с коксом массой 20 г получили карбид кальция массой 16 г. Определите выход карбида кальция, если массовая доля углерода в коксе составляет 90%. *Ответ:* 71,4%.

12.24. Смесь кремния и угля массой 20 г обработали избытком концентрированного раствора щелочи. В результате реакции выделился водород объемом 13,44 л (нормальные условия). Определите массовую долю кремния в исходной смеси. *Ответ:* 42%.

12.25. При пропускании оксида углерода (IV) через раствор массой 200 г с массовой долей гидроксида кальция 0,148% вначале выпал осадок, а потом он начал растворяться. Какой минимальный объем  $CO_2$ , измеренный при нормальных условиях, надо пропустить через раствор для образования и полного растворения осадка? Какая масса твердого вещества выпадет в осадок при кипячении полученного раствора? *Ответ*  $CO_2$  объемом 179,2 мл; осадок массой 0,4 г.

### 13. СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ

#### Руды. Получение металлов

**13.1.** Железная руда имеет состав: магнетит  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (массовая доля 55%), ильменит  $\text{FeTiO}_3$  (массовая доля 15%) и другие вещества, не содержащие железо и титан. Какую массу железа и титана можно получить из такой руды массой 300 кг?

*Решение.* Определяем массу магнетита и ильменита:

$$m(\text{Fe}_3\text{O}_4) = m(\text{руды}) \cdot w(\text{Fe}_3\text{O}_4); m(\text{Fe}_3\text{O}_4) = 300 \cdot 0,55 \text{ кг} = 165 \text{ кг}; \\ m(\text{FeTiO}_3) = m(\text{руды}) \cdot w(\text{FeTiO}_3); m(\text{FeTiO}_3) = 300 \cdot 0,15 \text{ кг} = 45 \text{ кг}.$$

Количества веществ магнетита и ильменита составляют:

$$n(\text{Fe}_3\text{O}_4) = \frac{m(\text{Fe}_3\text{O}_4)}{M(\text{Fe}_3\text{O}_4)}; n(\text{Fe}_3\text{O}_4) = \frac{165 \cdot 10^3}{232} \text{ моль} = 711,2 \text{ моль},$$

$$n(\text{FeTiO}_3) = \frac{m(\text{FeTiO}_3)}{M(\text{FeTiO}_3)}; n(\text{FeTiO}_3) = \frac{45 \cdot 10^3}{152} \text{ моль} = 296,1 \text{ моль}.$$

Из формул веществ следует:

$$n_1(\text{Fe}) = 3n(\text{Fe}_3\text{O}_4); n_1(\text{Fe}) = 3 \cdot 711,2 \text{ моль} = 2133,6 \text{ моль}.$$

$$n_2(\text{Fe}) = n(\text{FeTiO}_3); n_2(\text{Fe}) = 296,1 \text{ моль}.$$

Общее количество вещества железа, которое можно получить из данного образца руды, составляет:

$$n(\text{Fe}) = n_1(\text{Fe}) + n_2(\text{Fe}); n(\text{Fe}) = (2133,6 + 296,1) \text{ моль} = 2429,7 \text{ моль}.$$

Находим массу железа:

$$m(\text{Fe}) = n(\text{Fe}) \cdot M(\text{Fe}); m(\text{Fe}) = 2429,7 \cdot 56 \text{ г} = 136063,2 \text{ г} \approx 136,1 \text{ кг}.$$

Из формулы ильменита следует:

$$n(\text{Ti}) = n(\text{FeTiO}_3); n(\text{Ti}) = 296,1 \text{ моль}.$$

Определяем массу титана, который можно получить из данного образца руды:

$$m(\text{Ti}) = n(\text{Ti}) \cdot M(\text{Ti}); m(\text{Ti}) = 296,1 \cdot 48 \text{ г} = 14212,8 \approx 14,2 \text{ кг}.$$

**13.2.** Медная руда содержит малахит  $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$  и азурит  $2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ . Какую массу меди можно получить из

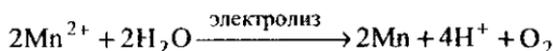
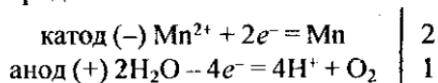
руды массой 5 т, если массовая доля малахита равна 8,0%, азурита 3,6%? Определите массовую долю меди в руде. *Ответ:* 330,5 кг; 6,61%.

**13.3.** Марганец получают электролизом водного раствора сульфата марганца (II) с инертными электродами. Определите, какая масса марганца получена, если на аноде собран кислород объемом 16,8 л (нормальные условия). Учтите, что выход кислорода количественный, а выход металла составляет 84%.

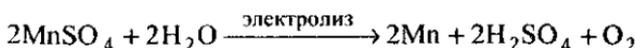
*Решение.* Составляем уравнение электролиза раствора сульфата марганца (II) с инертными электродами. В растворе соль диссоциирует на ионы:



Реакции на электродах:



или



Определяем количество вещества кислорода, полученного при электролизе:

$$n(\text{O}_2) = \frac{V(\text{O}_2)}{V_m}; n(\text{O}_2) = \frac{16,8}{22,4} \text{ моль} = 0,75 \text{ моль.}$$

Из уравнения электролиза следует:

$$\frac{n(\text{Mn})}{n(\text{O}_2)} = \frac{1}{2}; n(\text{Mn}) = 2n(\text{O}_2); n(\text{Mn}) = 2 \cdot 0,75 \text{ моль} = 1,5 \text{ моль.}$$

Масса марганца составляет:

$$m(\text{Mn}) = n(\text{Mn}) \cdot M(\text{Mn}); n(\text{Mn}) = 1,5 \cdot 55 \text{ г} = 82,5 \text{ г.}$$

Учитывая выход металла, находим массу реально полученного марганца.

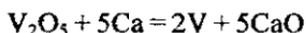
$$m_p(\text{Mn}) = \frac{m(\text{Mn}) \cdot \eta(\text{Mn})}{100}; m_p(\text{Mn}) = \frac{82,5 \cdot 84}{100} \text{ г} = 69,3 \text{ г}.$$

13.4. При пропускании постоянного электрического тока через раствор сульфата меди (II), в который погружены инертные электроды, в растворе образовалась кислота, на полную нейтрализацию которой затрачен раствор объемом 16 мл с массовой долей гидроксида калия 6% и плотностью 1,05 г/мл. Какая масса меди получена на катоде? *Ответ:* 0,576 г.

13.5. Какую массу свинца можно получить, проводя электролиз водного раствора нитрата свинца (II) массой 60 г? Массовая доля соли в растворе равна 15%. Какой объем газа, измеренный при нормальных условиях, выделится при электролизе? *Ответ:* 5,63 г свинца; 3,05 л кислорода.

13.6. Ванадий получают восстановлением оксида ванадия (V) металлическим кальцием. Какую массу металла можно получить при восстановлении концентрата массой 400 г, массовая доля  $\text{V}_2\text{O}_5$  в котором равна 85%? Какую массу технического кальция надо взять для восстановления, если технический кальций содержит примесь оксида кальция? Массовая доля  $\text{CaO}$  в техническом металле составляет 5%.

*Решение.* Записываем уравнение реакции получения ванадия методом металлотермии:



Определяем массу  $\text{V}_2\text{O}_5$  в концентрате:

$$m(\text{V}_2\text{O}_5) = mw(\text{V}_2\text{O}_5); m(\text{V}_2\text{O}_5) = 400 \cdot 0,85 \text{ г} = 340 \text{ г}.$$

Рассчитываем количество вещества оксида ванадия (V):

$$n(\text{V}_2\text{O}_5) = \frac{m(\text{V}_2\text{O}_5)}{M(\text{V}_2\text{O}_5)}; n(\text{V}_2\text{O}_5) = \frac{340}{182} \text{ моль} = 1,87 \text{ моль}.$$

На основании уравнения реакции записываем:

$$\frac{n(\text{V}_2\text{O}_5)}{n(\text{V})} = \frac{1}{2}; n(\text{V}) = 2n(\text{V}_2\text{O}_5); n(\text{V}) = 2 \cdot 1,87 \text{ моль} = 3,74 \text{ моль}.$$

Определяем массу металла, который можно получить:

$$m(\text{V}) = n(\text{V}) \cdot M(\text{V}); m(\text{V}) = 3,74 \cdot 51 \text{ г} = 190,7 \text{ г}.$$

Из уравнения реакции следует, что

$$\frac{n(\text{V}_2\text{O}_5)}{n(\text{Ca})} = \frac{1}{5}; n(\text{Ca}) = 5n(\text{V}_2\text{O}_5); n(\text{Ca}) = 5 \cdot 1,87 \text{ моль} = 9,35 \text{ моль.}$$

Масса кальция, который надо взять для восстановления, составляет:

$$m(\text{Ca}) = n(\text{Ca}) \cdot M(\text{Ca}); m(\text{Ca}) = 9,35 \cdot 40 \text{ г} = 374 \text{ г.}$$

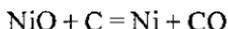
Технический кальций содержит примесь — оксид кальция. Определяем массовую долю кальция в техническом металле:

$$w(\text{Ca}) = 1 - w(\text{CaO}); w(\text{Ca}) = 1 - 0,05 = 0,95.$$

Находим массу технического металла, необходимого для осуществления процесса:

$$m(\text{техн. мет.}) = \frac{m(\text{Ca})}{w(\text{Ca})}; m(\text{техн. мет.}) = \frac{374}{0,95} \text{ г} = 393,7 \text{ г.}$$

**13.7.** Никель получают восстановлением оксида никеля (II) углеродом по реакции



Какую массу угля надо взять для получения никеля массой 354 г, если массовая доля углерода в угле составляет 92% и для реакции нужен двукратный избыток углерода? *Ответ:* 156,5 г.

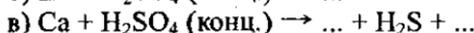
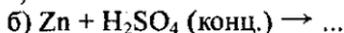
**13.8.** Из медной руды массой 16 т, содержащей халькозин  $\text{Cu}_2\text{S}$  и вещества, не содержащие медь, получили черновой металл массой 650 кг. Определите массовые доли меди и халькозина в руде, если массовая доля меди в черновом металле составляет 98,46%. *Ответ:* медь 4%, халькозин 5%.

**13.9.** При восстановлении водородом смеси оксида железа (II) и оксида железа (III) массой 148 г получили железо массой 112 г. Определите массовые доли каждого из оксидов в смеси. *Ответ:*  $\text{FeO}$  73%;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  27%.

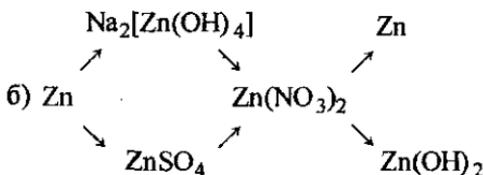
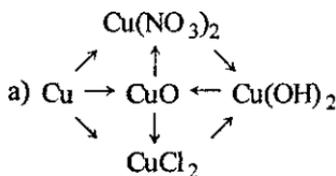
**13.10.** В стальном баллоне объемом 28 л находится водород при температуре  $0^\circ\text{C}$  и давлении 5065 кПа. Хватит ли этого водорода для восстановления концентрата массой 5,8 кг, который содержит оксид вольфрама (VI) и невосстанавливающиеся примеси? Массовая доля оксида вольфрама (VI) в концентрате равна 80%. *Ответ* хватит

## Химические свойства металлов

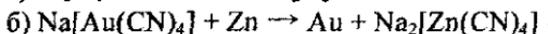
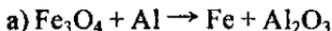
**13.11.** Методом электронного баланса подберите коэффициенты в схемах реакций взаимодействия металлов с кислотами:



**13.12.** Напишите уравнения реакций, при помощи которых можно осуществить следующие превращения:



**13.13.** Методом электронного баланса подберите коэффициенты в схемах окислительно-восстановительных реакций. Укажите окислитель и восстановитель:



**13.14.** Железо массой 12,2 г сплавили с серой массой 6,4 г. К полученному продукту добавили избыток соляной кислоты. Выделяющийся газ пропустили через раствор массой 200 г с массовой долей хлорида меди (II) 15%. Какая масса осадка образовалась? *Ответ:* 19,2 г.

**13.15.** Какой минимальный объем раствора с массовой долей хлороводорода 20% и плотностью 1,1 г/мл потребуются для растворения смеси цинка и никеля массой 49 г, если массовая доля никеля в смеси составляет 60,2 %? *Ответ:* 265,5 мл.

13.16. Технический цинк массой 1,32 г обработали избытком раствора серной кислоты. Выделившийся водород занял при нормальных условиях объем 448 мл. Определите массовую долю цинка в техническом металле. *Ответ:* 98,5%.

13.17. Имеется смесь порошков железа, алюминия и меди массой 16 г. На половину смеси подействовали избытком концентрированного раствора гидроксида калия, получив газ объемом 3,36 л. К другой половине смеси добавили избыток раствора соляной кислоты. При этом выделился газ объемом 4,48 л. Определите массовые доли металлов в смеси. Объемы газов приведены к нормальным условиям.

*Решение.* С раствором гидроксида калия взаимодействует только один компонент смеси — алюминий:



Определяем количество вещества водорода, который выделился в данной реакции:

$$n_{\text{а}}(\text{H}_2) = \frac{V_{\text{а}}(\text{H}_2)}{V_m}; n_{\text{а}}(\text{H}_2) = \frac{3,36}{22,4} \text{ моль} = 0,15 \text{ моль.}$$

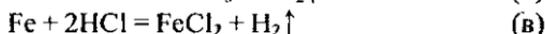
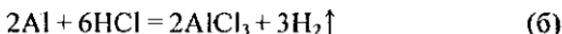
Из уравнения реакции (а) следует:

$$\frac{n(\text{Al})}{n_{\text{а}}(\text{H}_2)} = \frac{2}{3}; n(\text{Al}) = \frac{2}{3} n_{\text{а}}(\text{H}_2); n(\text{Al}) = \frac{2 \cdot 0,15}{3} \text{ моль} = 0,1 \text{ моль.}$$

Масса алюминия в половине исходного образца массой 8 г составляет

$$m(\text{Al}) = n(\text{Al}) \cdot M(\text{Al}); m(\text{Al}) = 0,1 \cdot 27 \text{ г} = 2,7 \text{ г.}$$

С раствором соляной кислоты взаимодействуют алюминий и железо:



Из уравнения (б) следует:

$$\frac{n(\text{Al})}{n_{\text{б}}(\text{H}_2)} = \frac{2}{3}; n_{\text{б}}(\text{H}_2) = \frac{3}{2} n(\text{Al}); n_{\text{б}}(\text{H}_2) = \frac{3}{2} \cdot 0,1 \text{ моль} = 0,15 \text{ моль.}$$

Объем этого водорода равен:

$$V_6(\text{H}_2) = n_6(\text{H}_2) \cdot V_m; V_6(\text{H}_2) = 0,15 \cdot 22,4 \text{ л} = 3,36 \text{ л.}$$

Объем водорода, выделившийся в реакции (в), составляет:

$$V_в(\text{H}_2) = V(\text{H}_2) - V_6(\text{H}_2); V_в(\text{H}_2) = (4,48 - 3,36) \text{ л} = 1,12 \text{ л,}$$

где  $V(\text{H}_2)$  — объем водорода, выделившийся при действии соляной кислоты на смесь металлов массой 8 г, т. е. объем водорода, выделившийся в реакциях (б) и (в).

Рассчитываем количество вещества водорода, образовавшегося при взаимодействии железа с соляной кислотой:

$$n_в(\text{H}_2) = \frac{V_в(\text{H}_2)}{V_m}; n_в(\text{H}_2) = \frac{1,12}{22,4} \text{ моль} = 0,05 \text{ моль.}$$

На основании уравнения (в) запишем:

$$n(\text{Fe}) = n_в(\text{H}_2); n(\text{Fe}) = 0,05 \text{ моль.}$$

Масса железа в половине исходного образца смеси составляет:

$$m(\text{Fe}) = n(\text{Fe}) \cdot M(\text{Fe}); m(\text{Fe}) = 0,05 \cdot 56 \text{ г} = 2,8 \text{ г.}$$

Определяем массу меди в половине исходного образца смеси металлов:

$$m(\text{Cu}) = m(\text{смеси}) - m(\text{Al}) - m(\text{Fe}); m(\text{Cu}) = (8 - 2,7 - 2,8) \text{ г} = 2,5 \text{ г.}$$

Определяем массовые доли металлов в смеси:

$$w(\text{Al}) = \frac{m(\text{Al})}{m(\text{смеси})}; w(\text{Al}) = \frac{2,7}{8} = 0,3375, \text{ или } 33,75\%;$$

$$w(\text{Fe}) = \frac{m(\text{Fe})}{m(\text{смеси})}; w(\text{Fe}) = \frac{2,8}{8} = 0,35, \text{ или } 35\%;$$

$$w(\text{Cu}) = \frac{m(\text{Cu})}{m(\text{смеси})}; w(\text{Cu}) = \frac{2,5}{8} = 0,3125, \text{ или } 31,25\%.$$

**13.18.** Имеется смесь магния, алюминия и железа массой 8,9 г. После обработки смеси избытком концентрированного раствора азотной кислоты на холоду масса остатка составила 4,1 г. Остаток обработали концентрированным раствором щелочи, в котором не растворилась часть смеси массой 1,4 г. Определите массовые доли металлов в смеси. *Ответ:* 53,93% Mg; 30,34% Al; 15,73% Fe.

**13.19.** Имеется смесь порошков металлов никеля, цинка и серебра. Часть этой смеси массой 4,58 г обработали концентрированным раствором щелочи, получив газ объемом 224 мл. Другую часть той же смеси массой 11,45 г обработали разбавленной серной кислотой. При этом выделился газ, занимающий объем 2,24 л. Определите массовые доли металлов в смеси. Объемы газов приведены к нормальным условиям. *Ответ:* 38,65% Ni; 14,19% Zn; 47,16% Ag.

**13.20.** Имеется смесь порошков алюминия и оксида неизвестного металла, в котором металл проявляет степень окисления +2. Образец этой смеси массой 3,48 г поместили в раствор щелочи, получив газ, при сгорании которого образовалась вода массой 1,08 г. На растворение твердого остатка затратили раствор объемом 25,8 мл с массовой долей серной кислоты 20% и плотностью 1,14 г/мл. Какой оксид находится в смеси с алюминием? *Ответ:* MgO.

### Сплавы. Интерметаллические соединения

**13.21.** Массовая доля натрия в его интерметаллическом соединении с оловом равна 20,5%. Определите формулу интерметаллического соединения.

*Решение.* Выбираем для расчетов образец соединения массой 100 г. Определяем массы и количества веществ натрия и олова:

$$m(\text{Na}) = mw(\text{Na}); m(\text{Na}) = 100 \cdot 0,205 \text{ г} = 20,5 \text{ г};$$

$$n(\text{Na}) = \frac{m(\text{Na})}{M(\text{Na})}; n(\text{Na}) = \frac{20,5}{23} \text{ моль} = 0,89 \text{ моль}.$$

$$m(\text{Sn}) = m - m(\text{Na}); m(\text{Sn}) = (100 - 20,5) \text{ г} = 79,5 \text{ г};$$

$$n(\text{Sn}) = \frac{m(\text{Sn})}{M(\text{Sn})}; n(\text{Sn}) = \frac{79,5}{119} \text{ моль} = 0,67 \text{ моль}.$$

Находим отношение количеств веществ натрия и олова, входящих в состав интерметаллического соединения:

$$n(\text{Na}) : n(\text{Sn}) = 0,89 : 0,67.$$

Разделив правую часть равенства на 0,67, получим

$$n(\text{Na}) : n(\text{Sn}) = 1,33 : 1.$$

Состав интерметаллических соединений обычно выражают формулами с целочисленными коэффициентами. Чтобы найти от-

ношение между  $n(\text{Na})$  и  $n(\text{Sn})$ , выражаемое целыми числами, надо правую часть равенства умножить на 3. Получаем:

$$n(\text{Na}) : n(\text{Sn}) = 3,99 : 3 \approx 4 : 3.$$

Таким образом, формула интерметаллического соединения  $\text{Na}_4\text{Sn}_3$ .

**13.22.** Определите формулу интерметаллического соединения серебра с алюминием, если массовая доля серебра в нем составляет 87%. *Ответ:*  $\text{Ag}_5\text{Al}_3$ .

**13.23.** Состав интерметаллического соединения железа с неизвестным металлом выражается формулой  $\text{Fe}_5\text{Me}_{21}$ . Массовая доля железа в соединении составляет 17%. Какой металл входит в состав соединения с железом? *Ответ:* цинк.

**13.24.** Имеется образец интерметаллического соединения  $\text{Na}_4\text{Pb}$  массой 29,9 г. Какую массу свинца надо добавить к нему для получения соединения  $\text{Na}_4\text{Pb}_9$ ?

*Решение.* Процесс перехода от соединения  $\text{Na}_4\text{Pb}$  к  $\text{Na}_4\text{Pb}_9$  можно выразить уравнением



Определяем количество вещества  $\text{Na}_4\text{Pb}$ , заключающегося в исходном образце:

$$n(\text{Na}_4\text{Pb}) = \frac{m(\text{Na}_4\text{Pb})}{M(\text{Na}_4\text{Pb})}; n(\text{Na}_4\text{Pb}) = \frac{29,9}{299} \text{ моль} = 0,1 \text{ моль}.$$

Из уравнения реакции следует:

$$\frac{n(\text{Na}_4\text{Pb})}{n(\text{Pb})} = \frac{1}{8}; n(\text{Pb}) = 8n(\text{Na}_4\text{Pb}); n(\text{Pb}) = 8 \cdot 0,1 \text{ моль} = 0,8 \text{ моль}.$$

Определяем массу свинца, которую нужно взять для получения указанного соединения:

$$m(\text{Pb}) = n(\text{Pb}) \cdot M(\text{Pb}); m(\text{Pb}) = 0,8 \cdot 207 \text{ г} = 165,6 \text{ г}.$$

**13.25.** Какую массу олова и соединения  $\text{Na}_2\text{Sn}$  надо взять для получения  $\text{Na}_4\text{Sn}_3$  массой 134,7 г? *Ответ:* 35,7 г Sn; 99 г  $\text{Na}_2\text{Sn}$ .

**13.26.** Для получения образца интерметаллического соединения  $\text{NaHg}$  массой 112 г сплавили соединения  $\text{Na}_3\text{Hg}$  и  $\text{NaHg}_2$ . Какие массы этих соединений были взяты? *Ответ:* 27 г  $\text{Na}_3\text{Hg}$ ; 85 г  $\text{NaHg}_2$ .

**13.27.** Сплавляли свинец массой 62,1 г и магний массой 36 г. В сплаве образовалось интерметаллическое соединение, массовая доля магния в котором равна 18,8%. Чему равна масса полученного соединения?

*Решение.* Обозначаем буквой  $m$  массу полученного интерметаллического соединения. Определяем массы свинца и магния, которые вступили в реакцию:

$$\begin{aligned} m(\text{Pb}) &= mw(\text{Pb}); m(\text{Pb}) = m \cdot 0,812 \text{ г}; \\ m(\text{Mg}) &= mw(\text{Mg}); m(\text{Mg}) = m \cdot 0,188 \text{ г}. \end{aligned}$$

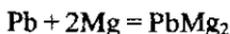
Количества веществ свинца и магния составляют:

$$\begin{aligned} n(\text{Pb}) &= \frac{m(\text{Pb})}{M(\text{Pb})}; n(\text{Pb}) = \frac{m \cdot 0,812}{207} \text{ моль}. \\ n(\text{Mg}) &= \frac{m(\text{Mg})}{M(\text{Mg})}; n(\text{Mg}) = \frac{m \cdot 0,188}{24} \text{ моль}. \end{aligned}$$

Находим отношение количеств веществ свинца и магния:

$$n(\text{Pb}) : n(\text{Mg}) = \frac{m \cdot 0,812}{207} : \frac{m \cdot 0,188}{24} = 0,0039m : 0,0078m = 1 : 2,$$

т.е. формула соединения  $\text{PbMg}_2$ , а уравнение реакции его образования



Определяем количества веществ свинца и магния, которые взяты для получения сплава:

$$n'(\text{Pb}) = \frac{m'(\text{Pb})}{M(\text{Pb})}; n'(\text{Pb}) = \frac{62,1}{207} \text{ моль} = 0,3 \text{ моль};$$

$$n'(\text{Mg}) = \frac{m'(\text{Mg})}{M(\text{Mg})}; n'(\text{Mg}) = \frac{36}{24} \text{ моль} = 1,5 \text{ моль}.$$

Следовательно, магний взят в избытке.

Из уравнения реакции следует:

$$n'(\text{PbMg}_2) = n'(\text{Pb}); n'(\text{PbMg}_2) = 0,3 \text{ моль}.$$

Определяем массу образовавшегося интерметаллического соединения:

$$m'(\text{PbMg}_2) = n'(\text{PbMg}_2) \cdot M(\text{PbMg}_2); m'(\text{PbMg}_2) = 0,3 \cdot 255 \text{ г} = 76,5 \text{ г}$$

**13.28.** Магний образует с сурьмой интерметаллическое соединение, массовая доля сурьмы в котором составляет 78%. Какая масса этого соединения образуется при сплавлении магния массой 21,6 г и сурьмы массой 89,6 г? *Ответ:* 98,4 г

**13.29.** Один из видов бронзы содержит медь (массовая доля 85%), олово (12%) и цинк (3%). При действии концентрированной азотной кислоты на образец бронзы массой 30 г выделился оксид азота (IV). Определите объем полученного газа при нормальных условиях. *Ответ:* 19,8 л.

**13.30.** Необходимо приготовить сплав олова со свинцом, в котором массовая доля свинца равна 46,5%. Какую массу оксида олова (IV) и оксида свинца (II) надо взять, чтобы при восстановлении их углем получился требуемый сплав массой 44,5 г? *Ответ:* 30,2 г  $\text{SnO}_2$  и 22,3 г  $\text{PbO}$ .

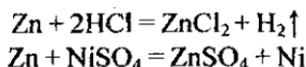
#### Ряд стандартных электродных потенциалов\*

**13.31.** Будет ли цинк взаимодействовать с водными растворами: а) 1 М  $\text{HCl}$ ; б) 1 М  $\text{NiSO}_4$ ; в) 1 М  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ ?

*Решение.* Из ряда стандартных электродных потенциалов (см. приложение 5) находим значения потенциалов цинкового, водородного, никелевого и магниевого электродов:  $E^\circ_{\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}} = -0,76\text{В}$ ;

$$E^\circ_{\text{H}^+/\text{H}_2} = 0; E^\circ_{\text{Ni}^{2+}/\text{Ni}} = -0,25\text{В}; E^\circ_{\text{Mg}^{2+}/\text{Mg}} = -2,36\text{В}.$$

Стандартный электродный потенциал цинкового электрода меньше стандартных потенциалов водородного и никелевого электродов, следовательно, цинк будет взаимодействовать с растворами соляной кислоты и сульфата никеля (II):



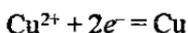
Стандартный электродный потенциал цинкового электрода больше, чем магниевого, следовательно, цинк не будет реагировать с растворами солей магния.

\* Это название является более точным, чем используемый в учебной литературе термин «электрохимический ряд напряжений»

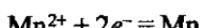
**13.32.** Может ли железо реагировать с водными растворами следующих электролитов: а) 1 М КСl; б) 1 М  $MnSO_4$ ; в) 1 М НСl; г) 1 М  $Cu(NO_3)_2$ ; д) 1 М  $ZnSO_4$ ? *Ответ:* а, б, д — не будет, в, г — будет.

**13.33.** Имеется раствор смеси солей: сульфата натрия, сульфата марганца (II) и сульфата меди (II). Какие вещества и в какой последовательности выделяются при электролизе этого раствора?

*Решение.* По ряду стандартных электродных потенциалов определяем:  $E^\circ_{Na^+/Na} = -2,71В$ ,  $E^\circ_{Mn^{2+}/Mn} = -1,18В$ ,  $E^\circ_{Cu^{2+}/Cu} = 0,34В$ . Легче всего восстанавливаются на катоде катионы металла с наиболее положительным значением электродного потенциала, т.е. ионы меди (II):



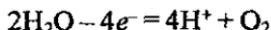
Вслед за медью будут восстанавливаться катионы марганца (II), образуя металлический марганец:



Катионы натрия невозможно восстановить в водном растворе. Поэтому после окончания восстановления ионов  $Mn^{2+}$  будет происходить разряд только воды:



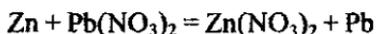
В растворе имеется только один тип анионов — сульфат-ионы. Эти анионы не окисляются в водных растворах, окислению будет подвергаться вода:



**13.34.** Какие вещества и в какой последовательности будут выделяться на электродах при электролизе раствора смеси солей: хлорида магния, сульфата никеля (II), нитрата цинка?

**13.35.** Цинковую пластинку массой 80 г погрузили в раствор нитрата свинца (II). Через некоторое время масса пластинки стала равной 94,2 г. Какая масса цинка перешла в раствор в виде ионов? Какая масса свинца осадилась на пластинке?

*Решение.* Из ряда стандартных электродных потенциалов находим, что  $E^\circ_{Zn^{2+}/Zn} = -0,76В$ ,  $E^\circ_{Pb^{2+}/Pb} = -0,13В$ . Следовательно, цинк взаимодействует с раствором нитрата свинца (II):



Вводим обозначения:  $m(\text{Zn})$  и  $m(\text{Pb})$  — массы растворившегося цинка и осажденного свинца;  $m_1$  — исходная масса пластинки;  $m_2$  — конечная масса пластинки.

Изменение массы пластинки связано с осаждением свинца (увеличение массы) и растворением цинка (уменьшение массы). Следовательно,

$$\begin{aligned} m(\text{Pb}) - m(\text{Zn}) &= m_2 - m_1; \quad m(\text{Pb}) - m(\text{Zn}) = (94,2 - 80) \text{ г}; \\ m(\text{Pb}) - m(\text{Zn}) &= 14,2 \text{ г}. \end{aligned} \quad (\text{а})$$

Определяем количества веществ цинка и свинца, принявших участие в реакции:

$$\begin{aligned} n(\text{Zn}) &= \frac{m(\text{Zn})}{M(\text{Zn})}; \quad n(\text{Zn}) = \frac{m(\text{Zn})}{65} \text{ моль}; \\ n(\text{Pb}) &= \frac{m(\text{Pb})}{M(\text{Pb})}; \quad n(\text{Pb}) = \frac{m(\text{Pb})}{207} \text{ моль}. \end{aligned}$$

Из уравнения реакции следует, что  $n(\text{Zn}) = n(\text{Pb})$ , следовательно,

$$\frac{m(\text{Zn})}{65} = \frac{m(\text{Pb})}{207}. \quad (\text{б})$$

Решая систему уравнений (а) и (б), находим:

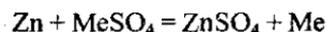
$$m(\text{Zn}) = 6,5 \text{ г}, \quad m(\text{Pb}) = 20,7 \text{ г}.$$

**13.36.** Деталь из марганца опустили в раствор сульфата олова (II). Через некоторое время масса детали увеличилась на 2,56 г. Какая масса олова выделилась на детали? Какая масса марганца перешла в раствор? *Ответ:* 4,76 г Sn; 2,2 г Mn.

**13.37.** Образец цинка массой 73 г поместили в раствор сульфата никеля (II) массой 240 г. Через некоторое время масса образца стала равной 71,8 г. Определите массовую долю сульфата цинка в растворе после реакции. *Ответ:* 13,3%.

**13.38.** Цинковую пластинку поместили в раствор сульфата некоторого металла. Масса раствора равна 50 г. Металл в сульфате находится в степени окисления +2. Через некоторое время масса пластинки увеличилась на 1,08 г. Массовая доля сульфата цинка при этом в растворе стала равна 6,58%. Какой металл выделился на пластинке?

*Решение.* Уравнение реакции можно представить в следующем виде:



Если масса пластинки увеличилась на 1,08 г, то на столько же уменьшилась масса раствора. Находим массу раствора  $m'$  после реакции:

$$m' = m - \Delta m; m' = (50 - 1,08) \text{ г} = 48,92 \text{ г},$$

где  $m$  — масса раствора до реакции;  $\Delta m$  — изменение массы раствора в ходе реакции.

Находим массу образовавшегося сульфата цинка:

$$m(\text{ZnSO}_4) = m_w(\text{ZnSO}_4); m(\text{ZnSO}_4) = 48,92 \cdot 0,0658 \text{ г} = 3,22 \text{ г}.$$

Количество вещества сульфата цинка равно:

$$m(\text{ZnSO}_4) = \frac{m(\text{ZnSO}_4)}{M(\text{ZnSO}_4)}; n(\text{ZnSO}_4) = \frac{3,22}{161} \text{ моль} = 0,02 \text{ моль}.$$

Из уравнения реакции следует, что

$$\begin{aligned} n(\text{Zn}) &= n(\text{ZnSO}_4); n(\text{Zn}) = 0,02 \text{ моль}; \\ n(\text{Me}) &= n(\text{ZnSO}_4); n(\text{Me}) = 0,02 \text{ моль}. \end{aligned}$$

Следовательно, в раствор перешел цинк количеством вещества 0,02 моль, а на электроде осадился металл Me таким же количеством вещества.

Определяем массу цинка, перешедшего в раствор:

$$m(\text{Zn}) = n(\text{Zn}) \cdot M(\text{Zn}); m(\text{Zn}) = 0,02 \cdot 65 \text{ г} = 1,3 \text{ г}.$$

Определяем массу металла, выделившегося на электроде:

$$m(\text{Me}) = m(\text{Zn}) + \Delta m; m(\text{Me}) = (1,3 + 1,08) \text{ г} = 2,38 \text{ г}.$$

Вычисляем молярную массу металла:

$$M(\text{Me}) = \frac{m(\text{Me})}{n(\text{Me})}; M(\text{Me}) = \frac{2,38}{0,02} \text{ г/моль} = 119 \text{ г/моль}.$$

Металл, выделившийся на электроде, — олово.

**13.39.** Кусочек железа поместили в раствор нитрата неизвестного металла, который проявляет в соединениях степень окисления +1. Масса образца металла увеличилась на 16 г. Через полу-

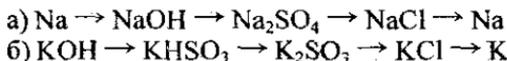
ченный раствор нитрата железа (II) пропустили избыток сероводорода, получив сульфид железа (II) массой 8,8 г. Какой металл выделен из раствора? *Ответ:* серебро.

13.40. В раствор сульфата меди (II) массой 248 г поместили порошок магния массой 20 г. Через некоторое время металлический осадок собрали и высушили. Его масса составила 28 г. Определите массовую долю сульфата магния в полученном растворе. *Ответ:* 10%.

## 14. МЕТАЛЛЫ ГЛАВНЫХ ПОДГРУПП

### Щелочные металлы

14.1. Напишите уравнения реакций, которые надо провести для осуществления следующих превращений:



Уравнения реакций, протекающих в растворах, напишите в ионной и сокращенной ионной формах.

14.2. В соединении калия с кислородом массовая доля металла составляет 44,8%. Определите простейшую формулу этого соединения. *Ответ:*  $\text{KO}_2$ .

14.3. Напишите уравнения реакций гидролиза солей  $\text{KCN}$ ,  $\text{K}_2\text{SiO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  в сокращенной ионной, ионной и молекулярной формах.

14.4. Напишите электронные и графические электронные формулы атомов натрия, калия и рубидия.

14.5. При действии избытка соляной кислоты на раствор карбоната натрия объемом 100 мл и плотностью 1,1 г/мл выделился газ, занимающий при нормальных условиях объем 2,016 л. Определите массовую долю карбоната натрия в исходном растворе. *Ответ:* 8,67%.

14.6. Щелочной металл массой 2,66 г поместили в избыток молекулярного хлора. Полученное твердое вещество растворили в воде, к раствору добавили избыток раствора нитрата серебра. При этом выпал осадок массой 2,87 г. Какой металл был взят? *Ответ:* цезий.

14.7. Зола, используемая в качестве калийного удобрения, содержит карбонат калия — поташ (массовая доля 25%). Определит

те массу каинита  $KCl \cdot MgSO_4 \cdot 3H_2O$ , который может заменить в качестве калийного удобрения золу массой 100 кг. *Ответ:* 90 кг.

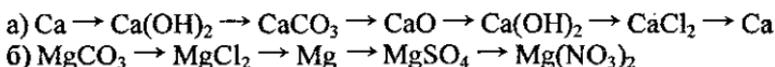
14.8. Какие объемы растворов с массовой долей гидроксида натрия 32% (плотность 1,35 г/мл) и с массовой долей фосфорной кислоты 46% (плотность 1,3 г/мл) потребуются для получения дигидрофосфата натрия массой 24 г? *Ответ:* раствор щелочи 18,5 мл; раствор кислоты 32,8 мл.

14.9. При электролизе водного раствора хлорида калия получили гидроксид калия массой 11,2 г. Какая масса воды образовалась при сжигании выделившегося водорода? *Ответ:* 1,8 г.

14.10. Имеется смесь карбоната натрия и гидрокарбоната натрия. При прокаливании образца смеси массой 60 г выделилась вода массой 2,7 г. Определите массовую долю  $Na_2CO_3$  и  $NaHCO_3$  в смеси. *Ответ:*  $Na_2CO_3$  — 58%;  $NaHCO_3$  — 42%.

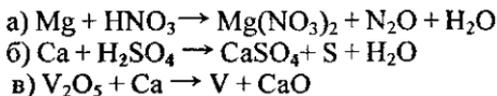
### Подгруппа бериллия

14.11. Напишите уравнения реакций, которые надо провести для осуществления следующих превращений:



Уравнения реакций, которые протекают в растворах, напишите в ионной и сокращенной ионной формах.

14.12. Используя метод электронного баланса, подберите коэффициенты в схемах следующих окислительно-восстановительных реакций:



Укажите окислитель и восстановитель.

14.13. Известняк массой 1,5 кг с массовой долей карбоната кальция 90% прокалили в печи. К твердому остатку добавили избыток воды. Какая масса гидроксида кальция получена? *Ответ:* 999 г.

14.14. Определите объем раствора с массовой долей азотной кислоты 25% и плотностью 1,15 г/мл, необходимый для растворения образца доломита  $CaCO_3 \cdot MgCO_3$  массой 46 г. *Ответ:* 219 мл.

14.15. Жесткая вода содержит гидрокарбонат кальция (массовая доля 0,015%) и гидрокарбонат магния (массовая доля 0,005%).

Какую массу гидроксида кальция надо добавить к воде объемом 10 л для устранения жесткости? Плотность воды принять равной 1 кг/л.

*Решение.* Масса взятого образца воды составляет:

$$m = V\rho; m = 10 \cdot 1 \text{ кг} = 10 \text{ кг} = 10^4 \text{ г.}$$

Определяем массу гидрокарбонатов кальция и магния в воде:

$$m(\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2) = m_w(\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2); m(\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2) = 10^4 \cdot 0,00015 \text{ г} = 1,5 \text{ г.}$$

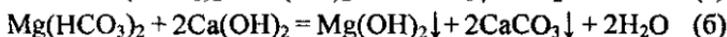
$$m(\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2) = m_w(\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2); m(\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2) = 10^4 \cdot 0,00005 \text{ г} = 0,5 \text{ г.}$$

Находим количества веществ гидрокарбонатов:

$$n(\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2) = \frac{m(\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2)}{M(\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2)}; n(\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2) = \frac{1,5}{162} \text{ моль} = 9,26 \cdot 10^{-3} \text{ моль};$$

$$n(\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2) = \frac{m(\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2)}{M(\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2)}; n(\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2) = \frac{0,5}{146} \text{ моль} = 3,42 \cdot 10^{-3} \text{ моль.}$$

Записываем уравнения реакций взаимодействия гидрокарбонатов кальция и магния с гидроксидом кальция:



На основании уравнения (а) записываем:

$$n_a(\text{Ca}(\text{OH})_2) = n(\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2); n_a(\text{Ca}(\text{OH})_2) = 9,26 \cdot 10^{-3} \text{ моль.}$$

Из уравнения (б) следует:

$$n_6(\text{Ca}(\text{OH})_2) = 2n(\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2); n_6(\text{Ca}(\text{OH})_2) = 2 \cdot 3,42 \cdot 10^{-3} \text{ моль} = 6,84 \cdot 10^{-3} \text{ моль.}$$

Рассчитываем общее количество вещества гидроксида кальция, которое потребуется для устранения жесткости воды:

$$n(\text{Ca}(\text{OH})_2) = n_a(\text{Ca}(\text{OH})_2) + n_6(\text{Ca}(\text{OH})_2); n(\text{Ca}(\text{OH})_2) = (9,26 + 6,84)10^{-3} \text{ моль} = 1,61 \cdot 10^{-2} \text{ моль.}$$

Определяем массу требуемого гидроксида кальция:

$$m(\text{Ca}(\text{OH})_2) = n(\text{Ca}(\text{OH})_2) \cdot M(\text{Ca}(\text{OH})_2); m(\text{Ca}(\text{OH})_2) = \\ = 1,61 \cdot 10^{-2} \cdot 74 \text{ г} = 1,19 \text{ г}.$$

**14.16.** Вода обладает некарбонатной жесткостью: содержит сульфат кальция (массовая доля 0,02%) и сульфат магния (0,01%). Какой объем раствора карбоната натрия с массовой долей 15% (плотность 1,16 г/мл) надо добавить к такой воде объемом 100 л для устранения постоянной жесткости? Плотность воды принять равной 1 кг/л. *Ответ:* 140 мл.

**14.17.** Какой объем воды надо взять для гашения извести, полученной из известняка массой 200 кг? Вода требуется в трехкратном избытке. Массовая доля карбоната кальция в известняке равна 90%. Плотность воды принять равной 1 кг/л. *Ответ:* 97,2 л.

**14.18.** Какую массу гексагидрата хлорида кальция  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  и воды надо взять для приготовления раствора объемом 150 мл с массовой долей хлорида кальция 16% и плотностью 1,14 г/мл?

*Решение.* Определяем массу раствора, который необходимо приготовить:

$$m = V\rho; m = 150 \cdot 1,14 \text{ г} = 171 \text{ г}.$$

Находим массу  $\text{CaCl}_2$ , которая необходима для приготовления раствора:

$$m(\text{CaCl}_2) = mw(\text{CaCl}_2); m(\text{CaCl}_2) = 171 \cdot 0,16 \text{ г} = 27,36 \text{ г}.$$

Количество вещества хлорида кальция составляет:

$$n(\text{CaCl}_2) = \frac{m(\text{CaCl}_2)}{M(\text{CaCl}_2)}; n(\text{CaCl}_2) = \frac{27,36}{111} \text{ моль} = 0,2465 \text{ моль}.$$

Из формулы гексагидрата хлорида кальция  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  следует:

$$n(\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}) = n(\text{CaCl}_2); n(\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}) = 0,2465 \text{ моль}.$$

Следовательно, масса гексагидрата хлорида кальция, требуемого для приготовления раствора, составляет:

$$m(\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}) = n(\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}) \cdot M(\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}); \\ m(\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}) = 0,2465 \cdot 219 \text{ г} = 54,0 \text{ г}.$$

Определяем необходимую массу воды:

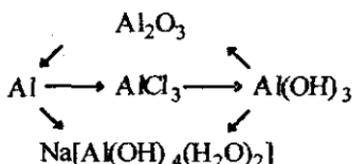
$$m(\text{H}_2\text{O}) = m - m(\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}); m(\text{H}_2\text{O}) = (171 - 54) \text{ г} = 117 \text{ г}.$$

14.19. Массовая доля карбоната кальция в известняке составляет 90%. Какую массу известняка надо взять для получения гидроксида кальция (гашеной извести) массой 20 кг? Напишите уравнения реакций, которые необходимо осуществить. *Ответ:* 30 кг.

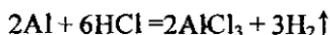
14.20. На смесь карбоната кальция, фосфата кальция и оксида кальция массой 20 г подействовали избытком раствора азотной кислоты. При этом выделился газ объемом 560 мл (нормальные условия) и осталось твердое вещество массой 6,2 г. Определите массовые доли веществ в исходной смеси. *Ответ:* массовая доля карбоната кальция 12,5%, фосфата кальция 31%, оксида кальция 56,5%.

### Алюминий

14.21. Напишите уравнения реакций, которые надо провести для осуществления следующих превращений:



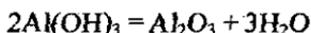
*Решение.* 1. Хлорид алюминия может быть получен при взаимодействии алюминия с соляной кислотой:



2. Получить гидроксид алюминия лучше всего прибавлением к раствору  $\text{AlCl}_3$  водного раствора аммиака  $\text{NH}_4\text{OH}$  (при добавлении щелочей в избытке гидроксид будет растворяться):



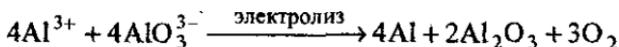
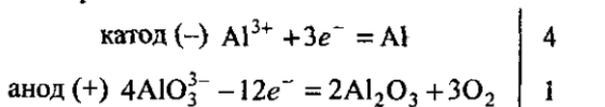
3. При прокаливании гидроксида алюминия получается оксид алюминия:



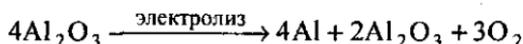
4. Алюминий получают, проводя электролиз расплава  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , который при высоких температурах диссоциирует на ионы:



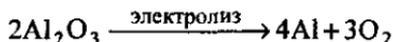
Уравнение электролиза:



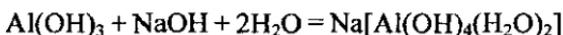
или



Окончательно получаем:



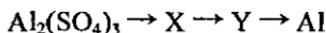
5. Гидроксид алюминия взаимодействует с водными растворами щелочей:



6. Металлический алюминий может растворяться в водных растворах щелочей с выделением водорода:



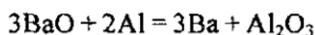
14.22. Напишите в молекулярной и сокращенной ионной формах уравнения реакций, которые надо провести для осуществления следующих превращений:



Назовите вещества X и Y. *Ответ:* X – гидроксид алюминия, Y – оксид алюминия.

14.23. Барий получают алюминотермическим восстановлением оксида бария. Какая масса бария будет получена при взаимодействии оксидного концентрата массой 600 г (массовая доля BaO 91,8%) с техническим алюминием массой 100 г (массовая доля алюминия 98,55%)?

*Решение.* Записываем уравнение реакции взаимодействия оксида бария с алюминием:



Определяем массу и количество вещества оксида бария, взятого для реакции:

$$m(\text{BaO}) = m(\text{концентра}) \cdot w(\text{BaO}); m(\text{BaO}) = 600 \cdot 0,918 \text{ г} = 550,8 \text{ г};$$

$$n(\text{BaO}) = \frac{m(\text{BaO})}{M(\text{BaO})}; n(\text{BaO}) = \frac{550,8}{153} \text{ моль} = 3,6 \text{ моль}.$$

Находим массу алюминия, который взят для реакции, и его количество вещества:

$$m(\text{Al}) = m(\text{техн. мет.}) \cdot w(\text{Al}); m(\text{Al}) = 100 \cdot 0,9855 \text{ г} = 98,55 \text{ г};$$

$$n(\text{Al}) = \frac{m(\text{Al})}{M(\text{Al})}; n(\text{Al}) = \frac{98,55}{27} \text{ моль} = 3,65 \text{ моль}.$$

Вычисляем, какое количество вещества алюминия  $n'(\text{Al})$  потребуется для реакции с оксидом бария количеством вещества 3,6 моль. Из уравнения реакции следует:

$$\frac{n(\text{BaO})}{n'(\text{Al})} = \frac{3}{2}; n'(\text{Al}) = \frac{2}{3} n(\text{BaO}); n'(\text{Al}) = \frac{2 \cdot 3,6}{3} \text{ моль} = 2,4 \text{ моль}.$$

Следовательно, алюминий взят для реакции в избытке.

Определяем количество вещества и массу полученного бария. На основании уравнения реакции записываем:

$$n(\text{Ba}) = n(\text{BaO}); n(\text{Ba}) = 3,6 \text{ моль};$$

$$m(\text{Ba}) = n(\text{Ba}) \cdot M(\text{Ba}); m(\text{Ba}) = 3,6 \cdot 137 \text{ г} = 493,2 \text{ г}.$$

**14.24.** Определите массу технического алюминия (массовая доля алюминия 98,4%), который потребуется для аллюминотермического получения ванадия массой 15,3 кг из оксида ванадия (V)  $\text{V}_2\text{O}_5$ . *Ответ:* 13,7 кг.

**14.25.** Сырье для аллюминотермического получения хрома кроме оксида хрома (III) содержит различные примеси, массовая доля которых равна 20%. К такому сырью массой 38 г добавили технический алюминий массой 10 г и осуществили реакцию восстановления. Какая масса хрома образовалась, если массовая доля алюминия в техническом металле составляет 97,2%, а выход хрома — 75%? *Ответ:* 14,04 г.

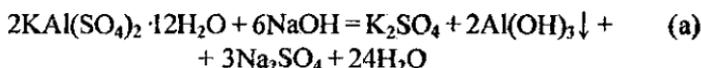
**14.26.** Какой минимальный объем раствора с массовой долей гидроксида калия 22% и плотностью 1,2 г/мл потребуется для растворения смеси массой 200 г, состоящей из алюминия (массовая доля 21,6%), оксида алюминия (10,4%) и гидроксида алюминия (68%)? *Ответ:* 1,754 л.

**14.27.** Алюминий получают электролизом оксида алюминия в расплаве. Выделяющийся на аноде кислород окисляет графитовый анод, образуя оксид углерода (IV). Какая масса алюминия была получена, если в результате реакций на аноде собран газ, объем которого при нормальных условиях составил 67,2 л? *Ответ:* 108 г.

**14.28.** Имеется смесь опилок алюминия, цинка и меди. Масса твердого остатка после обработки образца этой смеси массой 8 г избытком концентрированной азотной кислоты составила 1,52 г. Образец этой же смеси массой 3 г внесли в избыток концентрированного раствора щелочи, масса нерастворимого остатка составила 0,6 г. Определите массовые доли металлов в смеси. *Ответ:* 19% Al; 61% Zn; 20% Cu.

**14.29.** В воде растворили алюмокалиевые квасцы  $KAl(SO_4)_2 \times 12H_2O$  массой 23,7 г, добавили раствор объемом 24,6 мл с массовой долей гидроксида натрия 20% и плотностью 1,22 г/мл. Какие соединения алюминия образуются? Определите их массу.

*Решение.* При взаимодействии гидрата сульфата калия-алюминия с гидроксидом натрия возможна реакция



Если гидроксид натрия взят в избытке, происходит растворение образующегося гидроксида алюминия:



Определяем исходное количество вещества кристаллогидрата:

$$n(KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O) = \frac{m(KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O)}{M(KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O)}$$

$$n(KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O) = \frac{23,7}{474} \text{ моль} = 0,05 \text{ моль.}$$

Из уравнения (a) следует:

$$\frac{n(\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O})}{n(\text{NaOH})} = \frac{2}{6}; n(\text{NaOH}) = 3n(\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O});$$

$$n(\text{NaOH}) = 3 \cdot 0,05 \text{ моль} = 0,15 \text{ моль.}$$

Определяем массу раствора гидроксида натрия:

$$m = V\rho; m = 24,6 \cdot 1,22 \text{ г} = 30,0 \text{ г.}$$

Рассчитываем массу и количество вещества гидроксида натрия, который содержится в растворе:

$$m'(\text{NaOH}) = mw(\text{NaOH}); m'(\text{NaOH}) = 30 \cdot 0,2 \text{ г} = 6 \text{ г};$$

$$n'(\text{NaOH}) = \frac{m'(\text{NaOH})}{M(\text{NaOH})}; n'(\text{NaOH}) = \frac{6}{40} \text{ моль} = 0,15 \text{ моль.}$$

Таким образом, в растворе содержится гидроксид натрия в количестве, необходимом для осуществления реакции (а) [ $n'(\text{NaOH}) = n(\text{NaOH})$ ], т.е. образуется гидроксид алюминия.

Определяем количество вещества полученного гидроксида алюминия:

$$n(\text{Al}(\text{OH})_3) = n(\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}); n(\text{Al}(\text{OH})_3) = 0,05 \text{ моль.}$$

Находим массу выпавшего в осадок гидроксида алюминия:

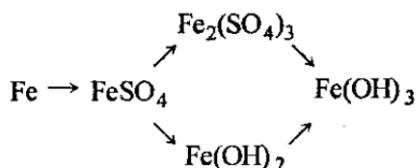
$$m(\text{Al}(\text{OH})_3) = n(\text{Al}(\text{OH})_3) \cdot M(\text{Al}(\text{OH})_3); m(\text{Al}(\text{OH})_3) = 0,05 \cdot 78 \text{ г} = 3,9 \text{ г.}$$

**14.30.** К раствору, содержащему хлорид алюминия массой 32 г, прилили раствор, содержащий сульфид калия массой 33 г. Какой осадок образуется? Определите массу осадка. *Ответ:*  $\text{Al}(\text{OH})_3$  массой 15,6 г.

## 15. МЕТАЛЛЫ ПОБОЧНЫХ ПОДГРУПП

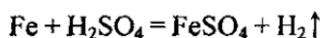
### Железо

**15.1.** Напишите уравнения реакций, которые нужно провести для осуществления следующих превращений:

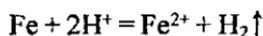


Уравнения реакций, протекающих в растворах, изобразите в сокращенной ионной форме.

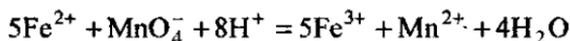
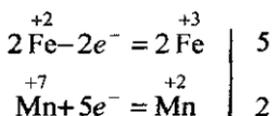
*Решение.* 1. Железо растворяется в разбавленной серной кислоте с образованием сульфата железа (II):



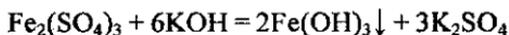
Уравнение в сокращенной ионной форме:



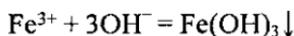
2. Сульфат железа (II) можно окислить до сульфата железа (III) каким-нибудь окислителем, например перманганатом калия  $\text{KMnO}_4$ , в присутствии серной кислоты:



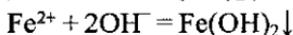
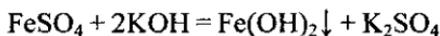
3. При добавлении раствора щелочи к сульфату железа (III) выпадает в осадок гидроксид железа (III):



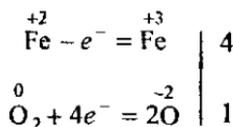
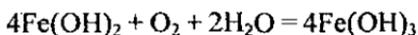
или



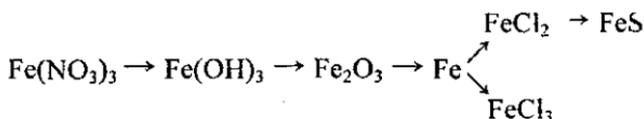
4. Аналогично получается гидроксид железа (II):



5. Гидроксид железа (II) легко окисляется до гидроксида железа (III) кислородом воздуха в присутствии воды:



15.2. Напишите уравнения реакций, при помощи которых можно осуществить следующие превращения:



Напишите в сокращенной ионной форме уравнения реакций, которые протекают в водных растворах электролитов.

15.3. В карбиде железа массовая доля углерода составляет 6,67%. Определите формулу карбида железа. *Ответ:*  $\text{Fe}_3\text{C}$ .

15.4. Определите формулу соединения, если массовые доли веществ, входящих в его состав, равны: кристаллизационной воды 40,10%, железа 13,86%, азота 10,40%, кислорода, не считая того, который входит в кристаллизационную воду, 35,64%. *Ответ:*  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ .

15.5. На восстановление оксида железа массой 11,6 г до металла израсходовали водород объемом 4,48 л (нормальные условия). Определите формулу оксида железа.

*Решение.* Представляем формулу оксида в виде  $\text{Fe}_x\text{O}_y$ , где  $x = n(\text{Fe})$ ,  $y = n(\text{O})$  — количества веществ атомных железа и кислорода, заключающиеся в образце оксида количеством вещества 1 моль.

Составляем уравнение реакции восстановления оксида железа водородом:



Молярная масса оксида составляет:  $M(\text{Fe}_x\text{O}_y) = (56x + 16y)$  г/моль.

Определяем количество вещества оксида, взятого для восстановления:

$$n(\text{Fe}_x\text{O}_y) = \frac{m(\text{Fe}_x\text{O}_y)}{M(\text{Fe}_x\text{O}_y)}; n(\text{Fe}_x\text{O}_y) = \frac{11,6}{56x + 16y}$$

Находим количество вещества водорода, затраченного на реакцию:

$$n(\text{H}_2) = \frac{V(\text{H}_2)}{V_m}; n(\text{H}_2) = \frac{4,48}{22,4} \text{ моль} = 0,2 \text{ моль.}$$

Из уравнения реакции следует:

$$\frac{n(\text{Fe}_x\text{O}_y)}{n(\text{H}_2)} = \frac{1}{y}; yn(\text{Fe}_x\text{O}_y) = n(\text{H}_2); \frac{11,6y}{56x + 16y} = 0,2.$$

откуда получаем:

$$\frac{x}{y} = \frac{8,4}{11,2} = \frac{1}{1,333} = \frac{3}{4}.$$

Следовательно, состав оксида может быть выражен формулой  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .

**15.6.** При действии водного раствора аммиака на раствор, содержащий хлорид железа массой 3,81 г, получили гидроксид железа, масса которого составила 2,70 г. Определите формулу хлорида железа. *Ответ:*  $\text{FeCl}_2$ .

**15.7.** На растворение образца смеси оксида железа (II) и оксида железа (III) массой 14,64 г затратили раствор объемом 89 мл с массовой долей азотной кислоты 30% и плотностью 1,18 г/мл. Определите массовые доли оксидов в смеси. *Ответ:*  $\text{FeO}$  — 34,4%;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  — 65,6%.

**15.8.** Железную пластинку массой 20,4 г опустили в раствор сульфата меди (II). Какая масса железа перешла в раствор к моменту, когда масса пластинки стала равной 22,0 г? *Ответ:* 11,2 г.

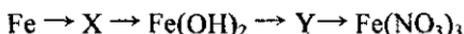
**15.9.** Определите минимальный объем раствора с массовой долей азотной кислоты 80% и плотностью 1,45 г/мл, который потребуется для растворения серебра, полученного при взаимодействии образца железа массой 2,8 г с раствором, содержащим нитрат серебра массой 24 г. *Ответ:* 10,86 мл.

**15.10.** Образец оксида железа массой 32 г восстановили до металла оксидом углерода (II). Определите формулу оксида железа, если объем  $\text{CO}$ , вступившего в реакцию, составил при нормальных условиях 13,44 л. *Ответ:*  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

**15.11.** Смесь оксида железа (II) и оксида железа (III) массой 8 г растворили в избытке серной кислоты. Для реакции с полученным раствором использовали раствор с массовой долей перманганата калия  $\text{KMnO}_4$  5% массой 31,6 г. Определите массовые доли оксидов в исходной смеси. *Ответ:*  $\text{FeO}$  — 45%;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  — 55%.

15.12. На частичное восстановление оксида железа (III) массой 120 г затратили водород объемом 5,6 л (нормальные условия). Какой оксид железа образовался в результате реакции? *Ответ:*  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .

15.13. Составьте в молекулярной и сокращенной ионной формах уравнения реакций, которые надо осуществить, чтобы провести следующие превращения:



Назовите вещества X и Y. *Ответ:* X — хлорид или сульфат железа (II), Y —  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ .

15.14. В результате реакции между железом массой 22,4 г и хлором объемом 15,68 л (нормальные условия) получили хлорид железа (III), который растворили в воде массой 500 г. Определите массовую долю  $\text{FeCl}_3$  в полученном растворе. *Ответ:* 11,5%.

15.15. Железо массой 14 г сплавляли с серой массой 4,8 г. К полученной смеси веществ добавили избыток соляной кислоты. Какие газы при этом образуются? Определите объемы этих газов, измеренные при нормальных условиях. *Ответ:*  $\text{H}_2$  объемом 2,24 л;  $\text{H}_2\text{S}$  объемом 3,36 л.

### Чугун и сталь

15.16. Образец сплава железа с углеродом массой 7,27 г растворили в серной кислоте. Объем выделившегося водорода составил 2,8 л при нормальных условиях. Какой сплав железа был взят? Определите массовую долю углерода в сплаве. *Ответ:* чугун; 3,7% C.

15.17. Для легирования стали требуется внести в расплав титан, чтобы его массовая доля составила 0,12%. Какую массу сплава ферротитана надо добавить к расплаву стали массой 500 кг, если массовые доли металлов в ферротитане составляют: титана — 30%, железа — 70%?

*Решение.* Вводим обозначение:  $x$  — масса требуемого ферротитана, т.е.  $m$  (ферротитана) =  $x$  кг. Тогда масса титана составляет:

$$m(\text{Ti}) = m(\text{ферротитана}) \cdot w(\text{Ti}); m(\text{Ti}) = 0,3x \text{ кг.}$$

Находим массу стали после добавления ферротитана в расплав:

$$m'(\text{стали}) = m(\text{стали}) + m(\text{ферротитана}); m'(\text{стали}) = (500 + x) \text{ кг,}$$

где  $m$  (стали) — масса исходного расплава стали.

Массовая доля титана в полученном сплаве составляет

$$w(\text{Ti}) = \frac{m(\text{Ti})}{m'(\text{стали})}.$$

Учитывая, что  $w(\text{Ti}) = 0,0012$ , получаем

$$0,0012 = \frac{0,3x}{500 + x}.$$

Решая полученное уравнение, находим, что  $x = 2,01$ , т.е. масса ферротитана, который надо внести в расплав, составляет 2,01 кг.

**15.18.** Массовые доли компонентов сплава ферромарганца равны: марганец 75%, железо 17%, углерод 6%, кремний 2%. Какую массу ферромарганца надо добавить к стали массой 1 т, чтобы массовая доля марганца в стали составила 2%? Учесть, что углерод и кремний, содержащиеся в ферромарганце, при выплавке стали удаляются. *Ответ:* 27,34 кг.

**15.19.** Сплав феррованадий содержит железо (массовая доля 55%) и ванадий (45%). Какую массу феррованадия надо добавить к стали массой 200 кг, чтобы увеличить массовую долю ванадия в ней с 0,4 до 1,2%?

*Решение.* Обозначаем буквой  $x$  массу феррованадия, который надо добавить к стали, т.е.  $m$  (феррованадия) =  $x$  кг. Масса ванадия в этом сплаве  $m_1(\text{V})$  равна:

$$m_1(\text{V}) = m(\text{феррованадия}) \cdot w_1(\text{V}); m_1(\text{V}) = 0,45x \text{ кг.}$$

В исходном образце стали также содержится ванадий, его масса  $m_2(\text{V})$  составляет:

$$m_2(\text{V}) = m(\text{стали}) \cdot w_2(\text{V}); m_2(\text{V}) = 200 \cdot 0,004 \text{ кг} = 0,8 \text{ кг.}$$

Определяем общую массу ванадия в сплаве после добавления феррованадия:

$$m(\text{V}) = m_1(\text{V}) + m_2(\text{V}); m(\text{V}) = (0,45x + 0,8) \text{ кг.}$$

Находим массу сплава после добавления феррованадия:

$$m'(\text{стали}) = m(\text{стали}) + m(\text{феррованадия}); m'(\text{стали}) = (200 + x) \text{ кг.}$$

Массовая доля ванадия в сплаве будет равна:

$$w(\text{V}) = \frac{m(\text{V})}{m'(\text{стали})}.$$

Учитывая, что  $w(V) = 0,012$ , получаем

$$0,012 = \frac{0,45x + 0,8}{200 + x}$$

Решая полученное уравнение, находим:  $x = 3,65$ , т.е. к стали надо добавить феррованадий массой 3,65 кг.

**15.20.** Массовая доля углерода в чугуна составляет 3,6%. Углерод содержится в сплаве в виде соединения — карбида железа  $Fe_3C$ . Определите массовую долю карбида железа в чугуна. *Ответ:* 54%.

### Хром

**15.21.** Методом электронного баланса подберите коэффициенты в схемах окислительно-восстановительных реакций с участием соединений хрома:

- а)  $Cr_2(SO_4)_3 + Br_2 + NaOH \rightarrow Na_2CrO_4 + NaBr + Na_2SO_4 + H_2O$
- б)  $KI + K_2Cr_2O_7 + H_2SO_4 \rightarrow I_2 + Cr_2(SO_4)_3 + K_2SO_4 + H_2O$
- в)  $SnCl_2 + K_2Cr_2O_7 + HCl \rightarrow SnCl_4 + CrCl_3 + KCl + H_2O$
- г)  $Cr(NO_3)_3 + KMnO_4 + H_2O \rightarrow H_2Cr_2O_7 + Mn(NO_3)_2 + KNO_3 + HNO_3$
- д)  $Na_2S + Na_2CrO_4 + H_2O \rightarrow S + Na[Cr(OH)_4(H_2O)_2] + NaOH$

Укажите, в каких реакциях соединения хрома являются окислителями, в каких восстановителями.

**15.22.** Напишите уравнения реакций, которые надо провести для осуществления следующих превращений:

- а)  $Cr \rightarrow CrCl_2 \rightarrow Cr(OH)_2 \rightarrow Cr(OH)_3 \rightarrow Cr_2(SO_4)_3 \rightarrow Cr$
- б)  $Na_2CrO_4 \rightarrow Na_2Cr_2O_7 \rightarrow Cr_2(SO_4)_3 \rightarrow Cr(OH)_3 \rightarrow$   
 $\rightarrow K[Cr(OH)_4(H_2O)_2]$
- в)  $K_2Cr_2O_7 \rightarrow CrO_3 \rightarrow Cr_2O_3 \rightarrow NaCrO_2 \rightarrow Cr_2(SO_4)_3$
- г)  $Cr(NO_3)_3 \rightarrow K_2Cr_2O_7 \rightarrow K_2CrO_4 \rightarrow BaCrO_4$
- д)  $K_2Cr_2O_7 \rightarrow Cr_2O_3 \rightarrow Cr \rightarrow CrSO_4$

Уравнения реакций, которые протекают с участием водных растворов электролитов, напишите в молекулярной, ионной и сокращенной ионной формах.

**15.23.** Сплав железа с хромом — феррохром — получают восстановлением хромистого железняка  $Fe(CrO_2)_2$ . Определите массовые доли металлов в полученном сплаве, учитывая, что соединения железа и хрома, входящие в состав руды, восстанавливаются

ся полностью, а сплав содержит углерод и другие примеси, массовая доля которых равна 5%.

*Решение.* Выбираем для расчетов образец хромистого железняка  $\text{Fe}(\text{CrO}_2)_2$  массой 100 г, т.е.  $m(\text{Fe}(\text{CrO}_2)_2) = 100$  г. Определяем количество вещества хромистого железняка:

$$n(\text{Fe}(\text{CrO}_2)_2) = \frac{m(\text{Fe}(\text{CrO}_2)_2)}{M(\text{Fe}(\text{CrO}_2)_2)}; n(\text{Fe}(\text{CrO}_2)_2) = \frac{100}{224} \text{ моль} = 0,4464 \text{ моль}.$$

Из формулы хромистого железняка следует:

$$n(\text{Fe}) = n(\text{Fe}(\text{CrO}_2)_2); n(\text{Fe}) = 0,4464 \text{ моль}; \\ n(\text{Cr}) = 2n(\text{Fe}(\text{CrO}_2)_2); n(\text{Cr}) = 2 \cdot 0,4464 \text{ моль} = 0,8928 \text{ моль}.$$

Массы железа и хрома, которые могут быть получены, составляют:

$$m(\text{Fe}) = n(\text{Fe}) \cdot M(\text{Fe}); m(\text{Fe}) = 0,4464 \cdot 56 \text{ г} = 25,00 \text{ г}; \\ m(\text{Cr}) = n(\text{Cr}) \cdot M(\text{Cr}); m(\text{Cr}) = 0,8928 \cdot 52 \text{ г} = 46,43 \text{ г}.$$

Массовая доля железа и хрома в сплаве составляет:

$$w(\text{Cr}) + w(\text{Fe}) = 1 - w(\text{примесей}); w(\text{Cr}) + w(\text{Fe}) = 1 - 0,05 = 0,95.$$

Находим массу сплава, который будет получен:

$$m(\text{сплава}) = \frac{m(\text{Fe}) + m(\text{Cr})}{w(\text{Fe}) + w(\text{Cr})}; m(\text{сплава}) = \frac{25,00 + 46,43}{0,95} \text{ г} = 75,19 \text{ г}.$$

Определяем массовые доли железа и хрома в полученном феррохроме:

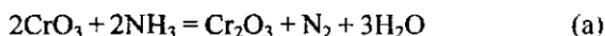
$$w(\text{Fe}) = \frac{m(\text{Fe})}{m(\text{сплава})}; w(\text{Fe}) = \frac{25,00}{75,19} = 0,3325, \text{ или } 33,25\%;$$

$$w(\text{Cr}) = \frac{m(\text{Cr})}{m(\text{сплава})}; w(\text{Cr}) = \frac{46,43}{75,19} = 0,6175, \text{ или } 61,75\%.$$

**15.24.** Образец сплава, содержащего железо, массой 40 г, растворили в избытке серной кислоты. К полученному раствору добавили раствор с массовой долей дихромата калия 14% до полного окисления соединений железа (II). Масса раствора дихромата калия, затраченного на реакцию, составила 210 г. Определите массовую долю железа в сплаве. *Ответ:* 84%.

**15.25.** Оксид хрома (VI) массой 5 г вступил в реакцию с аммиаком объемом 2,24 л (нормальные условия). Полученный твердый продукт сплавили с избытком гидроксида натрия, а затем подействовали на реакционную смесь избытком раствора серной кислоты. Какую массу кристаллогидрата  $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$  можно выделить из полученного раствора?

*Решение.* Записываем уравнение реакции между оксидом хрома (VI) и аммиаком:



Находим количество вещества оксида хрома (VI) и аммиака, которые взяты для реакции:

$$n(\text{CrO}_3) = \frac{m(\text{CrO}_3)}{M(\text{CrO}_3)}; n(\text{CrO}_3) = \frac{5}{100} \text{ моль} = 0,05 \text{ моль};$$

$$n(\text{NH}_3) = \frac{V(\text{NH}_3)}{V_m}; n(\text{NH}_3) = \frac{2,24}{22,4} \text{ моль} = 0,1 \text{ моль}.$$

Отсюда видно, что аммиак взят в избытке.

При сплавлении твердого продукта реакции  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  со щелочью протекает реакция:



При добавлении к полученному веществу избытка серной кислоты образуется сульфат хрома (III):



Из уравнения (а) следует:

$$n(\text{Cr}_2\text{O}_3) = \frac{1}{2} n(\text{CrO}_3); n(\text{Cr}_2\text{O}_3) = \frac{1}{2} 0,05 \text{ моль} = 0,025 \text{ моль}.$$

На основании уравнений реакций (б) и (в) записываем:

$$n(\text{NaCrO}_2) = 2n(\text{Cr}_2\text{O}_3); n(\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3) = \frac{1}{2} n(\text{NaCrO}_2),$$

следовательно,

$$n(\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3) = n(\text{Cr}_2\text{O}_3); n(\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3) = 0,025 \text{ моль}.$$

Количество вещества кристаллогидрата сульфата хрома (III), который может быть выделен из раствора, равно количеству вещества полученного сульфата хрома, т.е.

$$n(\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}) = n(\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3); n(\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}) = 0,025 \text{ моль.}$$

Находим массу кристаллогидрата:

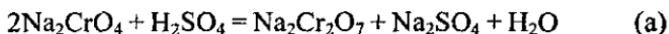
$$m(\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}) = n(\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}) \cdot M(\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O});$$

$$m(\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}) = 0,025 \cdot 716 \text{ г} = 17,9 \text{ г.}$$

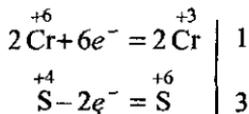
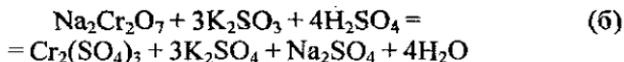
**15.26.** Имеется смесь нитрата алюминия и кристаллогидрата нитрата хрома (III)  $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ . Образец этой смеси массой 22,35 г растворили в воде и добавили гидроксид натрия и избыток бромной воды. К полученному раствору прилили раствор гидроксида бария в избытке. Образовался осадок массой 5,06 г. Определите массовые доли солей в исходной смеси. *Ответ:* 64,2% нитрата алюминия; 35,8% кристаллогидрата нитрата хрома (III).

**15.27.** Соль натрия желтого цвета массой 6,48 г растворили в воде, подкислили серной кислотой, получив оранжевый раствор. При добавлении избытка раствора сульфита калия образовался раствор зеленовато-фиолетового цвета. Какая масса металлического хрома может быть выделена при электролизе полученного раствора?

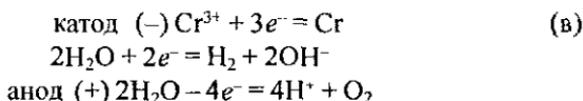
*Решение.* Соль натрия желтого цвета, раствор которой при подкислении становится оранжевым, — хромат натрия  $\text{Na}_2\text{CrO}_4$ . Записываем уравнения протекающих реакций. При подкислении раствора хромата натрия образуется дихромат натрия:



Дихромат натрия восстанавливается сульфитом калия в присутствии серной кислоты до сульфата хрома (III); образуется раствор зеленовато-фиолетового цвета:



Электролиз водного раствора сульфата хрома (III):



Определяем исходное количество вещества хромата натрия:

$$n(\text{Na}_2\text{CrO}_4) = \frac{m(\text{Na}_2\text{CrO}_4)}{M(\text{Na}_2\text{CrO}_4)}; n(\text{Na}_2\text{CrO}_4) = \frac{6,48}{162} \text{ моль} = 0,04 \text{ моль.}$$

Сопоставляя уравнения реакций (а), (б) и (в), получаем:

$$n(\text{Cr}) = n(\text{Na}_2\text{CrO}_4); n(\text{Cr}) = 0,04 \text{ моль.}$$

Определяем массу хрома, который может быть выделен при электролизе:

$$m(\text{Cr}) = n(\text{Cr}) \cdot M(\text{Cr}); m(\text{Cr}) = 0,04 \cdot 52 \text{ г} = 2,08 \text{ г.}$$

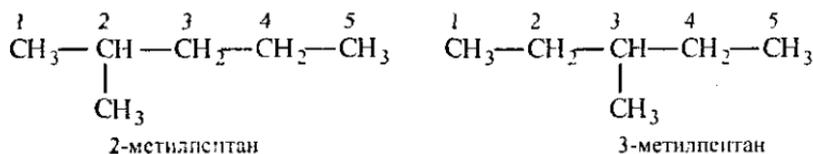
**15.28.** К водному раствору, содержащему хлорид хрома (III), массой 3,17 г, прилили раствор, содержащий сульфид калия, массой 3,85 г. Какое вещество выпадет в осадок? Определите массу осадка. *Ответ:*  $\text{Cr}(\text{OH})_3$ ; 2,06 г.

**15.29.** Оксид хрома (VI) массой 3 г растворили в воде объемом 120 мл (плотность воды 1 г/мл). Определите массовую долю хромовой кислоты  $\text{H}_2\text{CrO}_4$  в полученном растворе. *Ответ:* 2,88%.

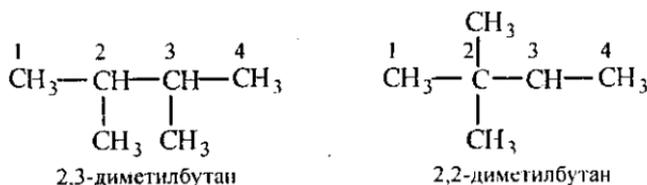
**15.30.** Какую массу сплава феррохрома надо прибавить к стали массой 60 кг, чтобы массовая доля хрома в стали составила 1%? Массовая доля хрома в феррохроме равна 65%. *Ответ:* 937,5 г.



Два изомера — с пятью атомами углерода в главной цепи:



Наконец, еще два изомера имеют главную углеродную цепь, состоящую из четырех атомов:



Следовательно, эмпирической формуле  $\text{C}_6\text{H}_{14}$  соответствуют пять изомеров.

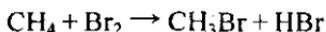
16.4. Сколько изомеров имеет гептан? Напишите структурные формулы этих изомеров и назовите их. *Ответ:* 9 изомеров.

16.5. Какие из перечисленных ниже соединений являются изомерами: а) 2-метилгексан; б) 3-метилгептан; в) 3-этилгексан; г) 2,2-диметилгептан; д) 2,4-диметилгексан; е) 2-метилоктан? *Ответ:* б, в и д.

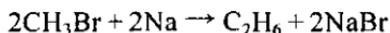
16.6. Сколько может быть углеводородов, содержащих четвертичный углеродный атом, среди первых семи членов ряда алканов? Составьте структурные формулы этих углеводородов, назовите их. *Ответ:* 5 углеводородов (по одному у  $\text{C}_5\text{H}_{12}$  и  $\text{C}_6\text{H}_{14}$  и три у  $\text{C}_7\text{H}_{16}$ ).

16.7. Напишите уравнения реакций, при помощи которых из метана и неорганических реагентов можно получить бутан.

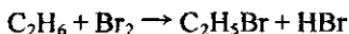
*Решение.* 1. Бромированием метана можно получить бромметан (бромистый метил):



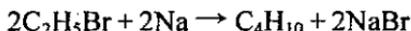
2. При нагревании бромметана с натрием образуется этан (реакция Вюрца):



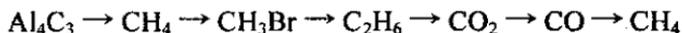
3. При взаимодействии этана с бромом можно получить бромэтан:



4. Бутан получается из бромэтана по реакции Вюрца:



16.8. Напишите уравнения реакций, которые нужно провести для осуществления следующих превращений:



Укажите условия протекания реакций.

16.9. Напишите структурную формулу 2,4,5,5-тетраметил-3-этилоктана. Укажите все первичные, вторичные, третичные и четвертичные углеродные атомы.

16.10. Сколько изомерных дихлорпроизводных может быть у *n*-бутана? Напишите структурные формулы этих производных и назовите их по заместительной номенклатуре. *Ответ:* 6 изомеров.

#### Расчеты по формулам алканов и уравнениям реакций с участием алканов

16.11. Органическое вещество содержит углерод (массовая доля 84,21%) и водород (15,79%). Плотность паров вещества по воздуху составляет 3,93. Определите формулу этого вещества.

*Решение.* Представляем формулу вещества в виде  $\text{C}_x\text{H}_y$ . Выбираем для расчетов образец вещества массой 100 г. Определяем массу и количество вещества углерода и водорода в этом образце:

$$m(\text{C}) = m(\text{вещества}) \cdot w(\text{C}); m(\text{C}) = 100 \cdot 0,8421 \text{ г} = 84,21 \text{ г};$$

$$m(\text{H}) = m(\text{вещества}) \cdot w(\text{H}); m(\text{H}) = 100 \cdot 0,1579 \text{ г} = 15,79 \text{ г};$$

$$n(\text{C}) = \frac{m(\text{C})}{M(\text{C})}; n(\text{C}) = \frac{84,21}{12} \text{ моль} = 7,02 \text{ моль};$$

$$n(\text{H}) = \frac{m(\text{H})}{M(\text{H})}; n(\text{H}) = \frac{15,79}{1} \text{ моль} = 15,79 \text{ моль}.$$

Находим отношение количеств веществ водорода и углерода, входящих в состав соединения:

$$\frac{n(\text{H})}{n(\text{C})} = \frac{15,79}{7,02} = 2,25.$$

Это отношение равно отношению коэффициентов  $y$  и  $x$ :

$$\frac{n(\text{H})}{n(\text{C})} = \frac{y}{x},$$

или

$$\frac{y}{x} = 2,25. \quad (\text{а})$$

Зная плотность паров углеводорода по воздуху, рассчитываем его молярную массу:

$$M(\text{C}_x\text{H}_y) = 29D_{\text{В}}; M(\text{C}_x\text{H}_y) = 29 \cdot 3,93 \text{ г/моль} = 114 \text{ г/моль}.$$

Молярная масса может быть также представлена в виде:

$$M(\text{C}_x\text{H}_y) = M(\text{C}) \cdot x + M(\text{H}) \cdot y; M(\text{C}_x\text{H}_y) = 12x + y.$$

Получаем

$$12x + y = 114. \quad (\text{б})$$

Решая систему уравнений (а) и (б), находим:  $x = 8$ ,  $y = 18$ , т.е. формула углеводорода  $\text{C}_8\text{H}_{18}$ , это — октан.

**16.12.** Массовая доля углерода в углеводороде составляет 83,33%. Плотность паров углеводорода по водороду равна 36. Определите формулу углеводорода. Сколько он имеет изомеров? Напишите структурные формулы этих изомеров и назовите их. *Ответ:*  $\text{C}_5\text{H}_{12}$ ; 3 изомера.

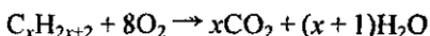
**16.13.** Углеводород циклического строения, не имеющий ответвлений в циклической цепи, имеет плотность паров по воздуху 1,931. Массовая доля углерода в этом веществе составляет 85,7%. Определите формулу углеводорода и напишите его структурную формулу. *Ответ:*  $\text{C}_4\text{H}_8$ .

**16.14.** Алкан имеет плотность паров по воздуху 4,414. Определите формулу алкана. *Ответ:*  $\text{C}_9\text{H}_{20}$ .

**16.15.** Плотность паров циклоалкана по водороду равна 42. Молекула циклоалкана не имеет боковых ответвлений от главной углеродной цепи. Определите формулу циклоалкана и назовите его. *Ответ:*  $\text{C}_6\text{H}_{12}$ ; циклогексан.

**16.16.** Для сгорания некоторого алкана требуется объем кислорода в 8 раз больший, чем объем паров данного углеводорода при тех же условиях. Определите формулу алкана.

*Решение.* Представляем формулу алкана в виде  $C_xH_{2x+2}$ . Если объем кислорода в 8 раз больше объема паров алкана, то и количество вещества кислорода будет в 8 раз больше количества вещества алкана. Поэтому уравнение реакции горения можно записать так:



Определяем количество вещества атомного кислорода в левой и правой частях уравнения:

$$n_n(O) = 8 \cdot 2 \text{ моль} = 16 \text{ моль};$$

$$n_n(O) = [2x + (x+1)1] \text{ моль} = (3x+1) \text{ моль}.$$

Обязательно условие:

$$n_n(O) = n_n(O); 16 = 3x + 1.$$

Решая уравнение, получаем, что  $x = 5$ , т.е. формула алкана  $C_5H_{12}$ . Это — пентан.

**16.17.** Определите формулу циклоалкана, на сгорание которого затрачивается объем кислорода в 9 раз больший, чем объем паров циклоалкана. Назовите этот циклоалкан, если известно, что его углеводородный скелет имеет неразветвленное строение. *Ответ:*  $C_6H_{12}$ , циклогексан.

**16.18.** При сгорании циклоалкана массой 7 г образуется оксид углерода (IV) массой 22 г. Какой объем кислорода, измеренный при нормальных условиях, расходуется при этом?

*Решение 1.* Определяем количество вещества оксида углерода (IV), образовавшегося при горении:

$$n(CO_2) = \frac{m(CO_2)}{M(CO_2)}; n(CO_2) = \frac{22}{44} \text{ моль} = 0,5 \text{ моль}.$$

Из формулы оксида углерода (IV) следует:

$$n(C) = n(CO_2); n(C) = 0,5 \text{ моль}.$$

0,5 моль — количество вещества углерода, содержащегося в циклоалкане.

Определяем массу углерода:

$$m(C) = n(C) \cdot M(C); m(C) = 0,5 \cdot 12 \text{ г} = 6 \text{ г}.$$

Вычисляем массу и количество вещества атомного водорода, который содержится в циклоалкане:

$$m(\text{H}) = m(\text{циклоалкана}) - m(\text{C}); m(\text{H}) = (7 - 6) \cdot 1 = 1 \text{ г};$$

$$n(\text{H}) = \frac{m(\text{H})}{M(\text{H})}; n(\text{H}) = \frac{1}{1} \text{ моль} = 1 \text{ моль}.$$

Рассчитываем количество вещества атомного кислорода  $n_1(\text{O})$ , который соединится с водородом, образуя воду, и количество вещества атомного кислорода  $n_2(\text{O})$ , который соединится с углеродом при образовании  $\text{CO}_2$ . Из формулы воды следует:

$$n_1(\text{O}) = \frac{1}{2} n(\text{H}); n_1(\text{O}) = \frac{1}{2} \cdot 1 \text{ моль} = 0,5 \text{ моль}.$$

На основании формулы оксида углерода (IV) записываем:

$$n_2(\text{O}) = 2n(\text{C}); n_2(\text{O}) = 2 \cdot 0,5 \text{ моль} = 1 \text{ моль}.$$

Находим общее количество вещества атомного кислорода:

$$n(\text{O}) = n_1(\text{O}) + n_2(\text{O}); n(\text{O}) = (0,5 + 1) \text{ моль} = 1,5 \text{ моль}.$$

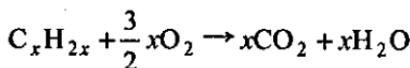
Количество вещества молекулярного кислорода составляет:

$$n(\text{O}_2) = \frac{1}{2} n(\text{O}); n(\text{O}_2) = \frac{1,5}{2} \text{ моль} = 0,75 \text{ моль}.$$

Определяем объем кислорода при нормальных условиях:

$$V(\text{O}_2) = n(\text{O}_2) \cdot V_m; V(\text{O}_2) = 0,75 \cdot 22,4 \text{ л} = 16,8 \text{ л}.$$

*Решение 2.* Известно, что исходное вещество — циклоалкан. Его формулу можно представить в виде  $\text{C}_x\text{H}_{2x}$ . Уравнение реакции горения циклоалкана:



Определяем количество вещества полученного оксида углерода (IV):

$$n(\text{CO}_2) = \frac{m(\text{CO}_2)}{M(\text{CO}_2)}; n(\text{CO}_2) = \frac{22}{44} \text{ моль} = 0,5 \text{ моль}.$$

Из уравнения реакции следует:

$$\frac{n(\text{O}_2)}{n(\text{CO}_2)} = \frac{\frac{3}{2}x}{x}.$$

Отсюда следует:

$$n(\text{O}_2) = \frac{3}{2} n(\text{CO}_2); n(\text{O}_2) = \frac{3}{2} 0,5 \text{ моль} = 0,75 \text{ моль}.$$

Находим объем кислорода при нормальных условиях:

$$V(\text{O}_2) = n(\text{O}_2) \cdot V_m; V(\text{O}_2) = 0,75 \cdot 22,4 \text{ л} = 16,8 \text{ л}.$$

**16.19.** При сгорании алкана массой 3,6 г образуется оксид углерода (IV) объемом 5,6 л (нормальные условия). Какой объем кислорода, приведенный к нормальным условиям, потребуется для реакции? *Ответ:* 8,96 л.

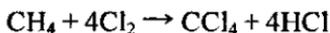
**16.20.** Продуктами горения углеводорода массой 14,2 г являются оксид углерода (IV) и вода массой 19,8 г. Какой объем кислорода был затрачен в процессе горения? Объем рассчитайте при нормальных условиях. *Ответ:* 34,72 л.

**16.21.** Какой объем раствора с массовой долей гидроксида калия 20% и плотностью 1,19 г/мл потребуется для поглощения всего оксида углерода (IV), полученного при сжигании пропана объемом 112 л (нормальные условия)? *Ответ:* 7 л.

**16.22.** Какой объем воздуха потребуется для сжигания смеси метана объемом 5 л с этаном объемом 2 л? Объемная доля кислорода в воздухе составляет 21%. Все объемы приведены к нормальным условиям. *Ответ:* 80,9 л.

**16.23.** Рассчитайте массу тетрахлорида углерода, который можно получить при хлорировании метана объемом 11,2 л молекулярным хлором, объем которого в реакционной системе равен 56 л. Объемы газов приведены к нормальным условиям. Выход продукта составляет 70% от теоретически возможного.

*Решение.* Записываем уравнение реакции хлорирования метана до тетрахлорида углерода:



Определяем количества исходных веществ:

$$n(\text{CH}_4) = \frac{V(\text{CH}_4)}{V_m}; n(\text{CH}_4) = \frac{11,2}{22,4} \text{ моль} = 0,5 \text{ моль};$$

$$n(\text{Cl}_2) = \frac{V(\text{Cl}_2)}{V_m}; n(\text{Cl}_2) = \frac{56}{22,4} \text{ моль} = 2,5 \text{ моль};$$

$$n(\text{CH}_4) : n(\text{Cl}_2) = 0,5 : 2,5 = 1 : 5,$$

следовательно, хлор взят в избытке.

Из уравнения реакции следует:

$$n(\text{CCl}_4) = n(\text{CH}_4); n(\text{CCl}_4) = 0,5 \text{ моль.}$$

Определяем массу тетрахлорида углерода, который может быть получен при количественном выходе:

$$n(\text{CCl}_4) = n(\text{CCl}_4) \cdot M(\text{CCl}_4); m(\text{CCl}_4) = 0,5 \cdot 154 \text{ г} = 77 \text{ г.}$$

Учитывая, что выход продукта составляет 70% от теоретически возможного, находим массу полученного  $\text{CCl}_4$ :

$$m_p(\text{CCl}_4) = \frac{m(\text{CCl}_4) \cdot \eta}{100}; m_p(\text{CCl}_4) = \frac{77 \cdot 70}{100} \text{ г} = 53,9 \text{ г.}$$

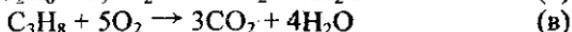
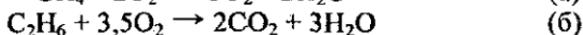
**16.24.** При нагревании иодметана массой 2,84 г с металлическим натрием массой 0,69 г получили этан, объем которого при нормальных условиях составил 179,2 мл. Определите выход продукта реакции. *Ответ:* 80%.

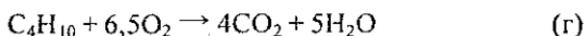
**16.25.** Образец технического карбида алюминия массой 16 г обработали избытком воды. Определите объем газа, который получили при этом, если массовая доля примесей в карбиде составляет 10%, а выход продукта реакции равен 75%. Объем газа рассчитайте при нормальных условиях. *Ответ:* 5,04 л.

### Природные газы

**16.26.** Природный газ одного из месторождений содержит метан (объемная доля 92%), этан (3%), пропан (1,6%), бутан (0,4%), азот (2%), оксид углерода (IV), пары воды и другие негорючие газы (1%). Какой объем воздуха потребуется для сжигания газа объемом 5 м<sup>3</sup> (нормальные условия)? Объемная доля кислорода в воздухе составляет 21%. Объем воздуха рассчитайте при нормальных условиях.

*Решение.* Природный газ содержит четыре горючих компонента: метан  $\text{CH}_4$ , этан  $\text{C}_2\text{H}_6$ , пропан  $\text{C}_3\text{H}_8$  и бутан  $\text{C}_4\text{H}_{10}$ . Записываем уравнения реакций горения газов:





Определяем их объемы в природном газе объемом 5 м<sup>3</sup>:

$$\begin{aligned} V(\text{CH}_4) &= V\varphi(\text{CH}_4); V(\text{CH}_4) = 5 \cdot 0,92 \text{ м}^3 = 4,6 \text{ м}^3; \\ V(\text{C}_2\text{H}_6) &= V\varphi(\text{C}_2\text{H}_6); V(\text{C}_2\text{H}_6) = 5 \cdot 0,03 \text{ м}^3 = 0,15 \text{ м}^3; \\ V(\text{C}_3\text{H}_8) &= V\varphi(\text{C}_3\text{H}_8); V(\text{C}_3\text{H}_8) = 5 \cdot 0,016 \text{ м}^3 = 0,08 \text{ м}^3; \\ V(\text{C}_4\text{H}_{10}) &= V\varphi(\text{C}_4\text{H}_{10}); V(\text{C}_4\text{H}_{10}) = 5 \cdot 0,004 \text{ м}^3 = 0,02 \text{ м}^3. \end{aligned}$$

Из уравнения (а) следует:

$$V_{\text{а}}(\text{O}_2) = 2V(\text{CH}_4); V_{\text{а}}(\text{O}_2) = 2 \cdot 4,6 \text{ м}^3 = 9,2 \text{ м}^3.$$

Аналогично, используя уравнения реакций (б), (в) и (г), получаем:

$$\begin{aligned} V_{\text{б}}(\text{O}_2) &= 3,5V(\text{C}_2\text{H}_6); V_{\text{б}}(\text{O}_2) = 3,5 \cdot 0,15 \text{ м}^3 = 0,525 \text{ м}^3; \\ V_{\text{в}}(\text{O}_2) &= 5V(\text{C}_3\text{H}_8); V_{\text{в}}(\text{O}_2) = 5 \cdot 0,08 \text{ м}^3 = 0,4 \text{ м}^3; \\ V_{\text{г}}(\text{O}_2) &= 6,5V(\text{C}_4\text{H}_{10}); V_{\text{г}}(\text{O}_2) = 6,5 \cdot 0,02 \text{ м}^3 = 0,13 \text{ м}^3. \end{aligned}$$

Общий объем кислорода, требуемый для реакции, составляет:

$$\begin{aligned} V(\text{O}_2) &= V_{\text{а}}(\text{O}_2) + V_{\text{б}}(\text{O}_2) + V_{\text{в}}(\text{O}_2) + V_{\text{г}}(\text{O}_2); \\ V(\text{O}_2) &= (9,2 + 0,525 + 0,4 + 0,13) \text{ м}^3 = 10,255 \text{ м}^3. \end{aligned}$$

Вычисляем необходимый объем воздуха:

$$V(\text{воздуха}) = \frac{V(\text{O}_2)}{\varphi(\text{O}_2)}; V(\text{воздуха}) = \frac{10,255}{0,21} \text{ м}^3 = 48,83 \text{ м}^3.$$

**16.27.** Природный газ объемом 240 л (нормальные условия) использовали для получения ацетилен. Объемная доля метана в газе составляет 85%. Определите объем образовавшегося ацетилена, приведенный к нормальным условиям, если его выход составил 60%. *Ответ:* 61,2 л.

**16.28.** Из природного газа объемом 40 л (нормальные условия) получили хлорметан массой 30,3 г. Определите объемную долю метана в природном газе, если выход хлорметана равен 40% от теоретически возможного.

*Решение.* Записываем уравнение реакции получения хлорметана из метана, который содержится в природном газе:



Определяем массу хлорметана, который образовался бы при количественном выходе:

$$m(\text{CH}_3\text{Cl}) = \frac{m_p(\text{CH}_3\text{Cl}) \cdot 100}{\eta}; m(\text{CH}_3\text{Cl}) = \frac{30,3 \cdot 100}{40} \text{ г} = 75,75 \text{ г.}$$

Вычисляем количество вещества  $\text{CH}_3\text{Cl}$ :

$$n(\text{CH}_3\text{Cl}) = \frac{m(\text{CH}_3\text{Cl})}{M(\text{CH}_3\text{Cl})}; n(\text{CH}_3\text{Cl}) = \frac{75,75}{50,5} \text{ моль} = 1,5 \text{ моль.}$$

Из уравнения реакции следует:

$$n(\text{CH}_4) = n(\text{CH}_3\text{Cl}); n(\text{CH}_4) = 1,5 \text{ моль.}$$

Находим объем метана при нормальных условиях:

$$V(\text{CH}_4) = n(\text{CH}_4) \cdot V_m; V(\text{CH}_4) = 1,5 \cdot 22,4 \text{ л} = 33,6 \text{ л.}$$

Определяем объемную долю метана в природном газе:

$$\varphi(\text{CH}_4) = \frac{V(\text{CH}_4)}{V(\text{природ. газа})}; \varphi(\text{CH}_4) = \frac{33,6}{40} = 0,84, \text{ или } 84\%.$$

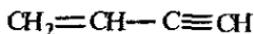
**16.29.** Какой объем природного газа, который содержит метан (объемная доля 96%), азот, благородные газы, оксиды углерода и незначительные количества других примесей, потребуется для получения водорода, при помощи которого можно восстановить оксид молибдена (VI) массой 14,4 кг? Водород получают конверсией природного газа с водяным паром. Выход водорода составляет 80%. Объем рассчитайте при нормальных условиях. *Ответ:* 2,92 м<sup>3</sup>.

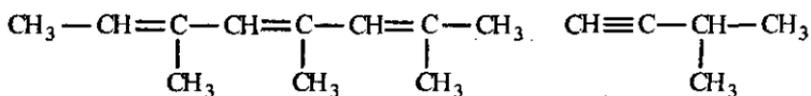
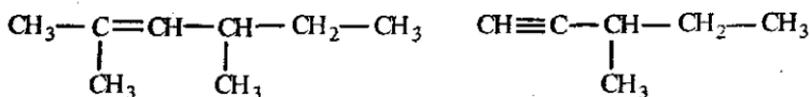
**16.30.** Какой объем хлороформа плотностью 1,5 г/мл можно получить из природного газа объемом 60 л (нормальные условия), объемная доля метана в котором составляет 90%? Выход хлороформа равен 70% от теоретически возможного. *Ответ:* 134,4 мл.

## 17. АЛКЕНЫ. АЛКИНЫ. АЛКАДИЕНЫ

Номенклатура и изомерия непредельных углеводородов

17.1. Назовите следующие соединения:

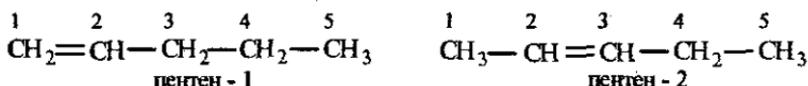




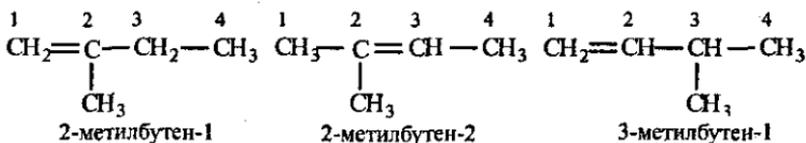
17.2. Напишите структурные формулы соединений по их названиям: 3-метилпентен-1; 2,3-диметилбутадиен-1,3; 4-метилпентин-2; 2-метилгептатриен-1,3,5; 2-метил-4-изопропилгексен-1.

17.3. Сколько изомерных алкенов могут соответствовать эмпирической формуле  $\text{C}_5\text{H}_{10}$ ? Напишите структурные формулы этих изомеров и назовите их.

*Решение.* Два изомерных алкена, отвечающие формуле  $\text{C}_5\text{H}_{10}$ , могут иметь по пять атомов углерода в главной цепи:



Существуют также три изомера с четырьмя углеродными атомами в главной цепи:



Таким образом, формуле  $\text{C}_5\text{H}_{10}$  соответствуют пять изомерных алкенов.

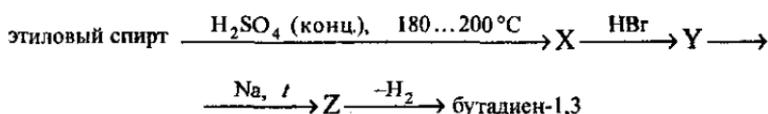
17.4. Сколько алкинов могут быть изомерны изопрену? Напишите структурные формулы этих алкинов и назовите их. *Ответ:* 3 изомерных алкина.

17.5. Сколько изомерных алкенов соответствуют формуле  $\text{C}_6\text{H}_{12}$ ? Напишите их структурные формулы и назовите их по заместительной номенклатуре. *Ответ:* 12 изомерных алкенов.

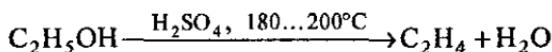
17.6. Напишите структурные формулы всех изомеров, которые отвечают формуле  $\text{C}_4\text{H}_8$ . *Ответ:* 5 изомеров (3 алкена и 2 циклоалкана).

## Свойства и получение алкенов, алкинов и алкадиенов

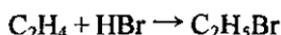
17.7. Напишите уравнения реакций, при помощи которых можно осуществить следующие превращения:



*Решение.* 1. При нагревании этилового спирта до 180... 200°C с концентрированной серной кислотой должен образоваться продукт, реагирующий с бромоводородом. Это — этилен (вещество X). Уравнение реакции:



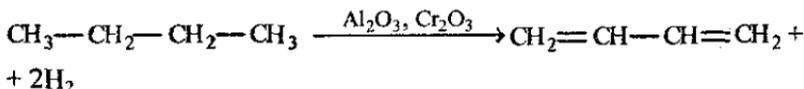
2. В результате присоединения бромоводорода к этилену образуется бромэтан (Y):



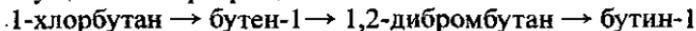
3. При нагревании бромэтана в присутствии натрия образуется бутан (Z):



4. Дегидрирование бутана в присутствии катализатора из оксидов алюминия и хрома (III) — один из способов получения бутадиена-1,3:

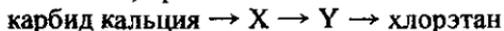


17.8. Напишите уравнения реакций, с помощью которых можно осуществить превращения:



Укажите условия протекания реакций.

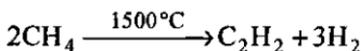
17.9. Назовите соединения, которые получены на первом и втором этапах синтеза, протекающего по схеме:



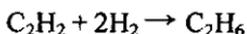
Составьте уравнения реакций, необходимых для осуществления данных превращений, указав условия их протекания. *Ответ:* X — ацетилен; Y — этилен.

**17.10.** Как, исходя из метана, двумя различными способами получить этан? Напишите уравнения реакций, которые необходимо осуществить.

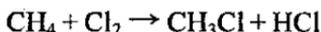
*Решение 1.* Нагревая метан при высоких температурах, получаем ацетилен:



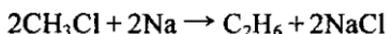
Гидрируя ацетилен, получаем этан:



*Решение 2.* Хлорируя метан, получаем хлорметан:



Нагревая хлорметан с натрием (синтез Вюрца), получаем этан:



**17.11.** Напишите уравнения реакций, при помощи которых можно осуществить превращения:



Назовите соединения X и Y. *Ответ:* X — метан, Y — ацетилен.

**17.12.** Напишите уравнения реакций, при помощи которых можно, исходя из карбида кальция и неорганических реагентов, получить 1,2-дихлорэтан и 1,1-дихлорэтан. Укажите условия протекания реакций.

**17.13.** Состав соединения выражается формулой  $\text{C}_4\text{H}_6$ . Известно, что это вещество легко взаимодействует с бромной водой, не реагирует с аммиачным раствором оксида серебра, но присоединяет воду в присутствии солей ртути (II). Напишите структурную формулу соединения и назовите его.

*Решение.* Из формулы углеводорода следует, что он может относиться к алкинам, алкадиенам и циклическим алкенам, состав которых выражается формулой  $\text{C}_n\text{H}_{2n-2}$ .

Реакция присоединения воды в присутствии солей ртути (II) характерна для алкинов. Так как углеводород не взаимодействует с аммиачным раствором оксида серебра, он не содержит тройную связь при первом углеродном атоме. Следовательно, структурная формула алкина такова:



Это — бутин-2.

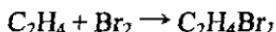
17.14. Углеводород, состав которого выражается формулой  $\text{C}_3\text{H}_4$ , взаимодействует с бромной водой и с натрием с выделением водорода. Определите структурную формулу углеводорода и назовите его. *Ответ:* пропин.

### Расчетные задачи

17.15. Какую массу бромной воды с массовой долей брома 1,6% может обесцветить пропилен объемом 1,12 л (нормальные условия)? *Ответ:* 500 г.

17.16. Смесь метана и этилена объемом 400 мл (нормальные условия) обесцветила бромную воду с массовой долей брома 3,2% массой 40 г. Определите объемную долю этилена в смеси.

*Решение.* С бромной водой легко взаимодействует только этилен с образованием 1,2-дибромэтана:



Определяем массу и количество вещества молекулярного брома, содержащегося в бромной воде:

$$m(\text{Br}_2) = mw(\text{Br}_2); m(\text{Br}_2) = 40 \cdot 0,032 \text{ г} = 1,28 \text{ г};$$

$$n(\text{Br}_2) = \frac{m(\text{Br}_2)}{M(\text{Br}_2)}; n(\text{Br}_2) = \frac{1,28}{160} \text{ моль} = 0,008 \text{ моль}.$$

Из уравнения реакции следует:

$$n(\text{C}_2\text{H}_4) = n(\text{Br}_2); n(\text{C}_2\text{H}_4) = 0,008 \text{ моль}.$$

Находим объем этилена при нормальных условиях:

$$V(\text{C}_2\text{H}_4) = n(\text{C}_2\text{H}_4) \cdot V_m; V(\text{C}_2\text{H}_4) = 0,008 \cdot 22,4 \text{ л} = 0,1792 \text{ л} = 179,2 \text{ мл}.$$

Определяем объемную долю этилена в смеси:

$$\varphi(\text{C}_2\text{H}_4) = \frac{V(\text{C}_2\text{H}_4)}{V(\text{смеси})}; \varphi(\text{C}_2\text{H}_4) = \frac{179,2}{400} = 0,448, \text{ или } 44,8\%.$$

17.17. При гидрировании смеси этана с этиленом массой 5,8 г получили газ массой 6,0 г. Определите массовую и объемную доли

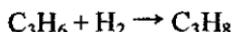
этилена в исходной смеси. *Ответ:* массовая доля — 0,48; объемная доля — 0,50.

17.18. Алкен нормального строения содержит двойную связь при первом углеродном атоме. Образец этого алкена массой 0,7 г присоединил бром массой 1,6 г. Определите формулу алкена и назовите его. *Ответ:* пентен-1.

17.19. Какой объем водорода, измеренный при нормальных условиях, может присоединить смесь газов массой 15,4 г, которая содержит этилен (массовая доля 54,5%), пропилен (27,3%) и бутилен (18,2%)? *Ответ:* 10,08 л.

17.20. К смеси пропана с пропиленом объемом 6 л добавили водород объемом 5 л. Смесь газов пропустили над нагретым платиновым катализатором. После приведения продуктов реакции к исходным условиям объем смеси стал равен 7 л. Определите объемные доли пропана и пропилена в исходной смеси этих газов.

*Решение.* Записываем уравнения реакции между пропиленом и водородом в присутствии катализатора:



Вводим обозначения:  $V_1$  — объем исходной смеси пропана и пропилена;  $V_2$  — объем смеси газов после реакции;  $V(\text{H}_2)$  — исходный объем водорода;  $V'(\text{H}_2)$  — объем водорода, вступившего в реакцию;  $V(\text{C}_3\text{H}_6)$  — объем пропилена в исходной смеси;  $V'(\text{C}_3\text{H}_6)$  — объем  $\text{C}_3\text{H}_6$ , вступившего в реакцию;  $V(\text{C}_3\text{H}_8)$  — объем пропана в исходной смеси.

Уменьшение объема газовой смеси произошло за счет взаимодействия равных объемов водорода и пропилена:

$$\begin{aligned} V'(\text{H}_2) = V'(\text{C}_3\text{H}_6) &= V_1 + V(\text{H}_2) - V_2; \quad V'(\text{H}_2) = V'(\text{C}_3\text{H}_6) = \\ &= (6 + 5 - 7) \text{ л} = 4 \text{ л}. \end{aligned}$$

Следовательно, водород взят в избытке, и весь пропилен, содержащийся в смеси, вступил в реакцию с водородом, т.е.

$$V(\text{C}_3\text{H}_6) = V'(\text{C}_3\text{H}_6); \quad V(\text{C}_3\text{H}_6) = 4 \text{ л}.$$

Определяем объем пропана в исходной смеси его с пропиленом:

$$V(\text{C}_3\text{H}_8) = V_1 - V(\text{C}_3\text{H}_6); \quad V(\text{C}_3\text{H}_8) = (6 - 4) \text{ л} = 2 \text{ л}.$$

Вычисляем объемные доли пропана и пропилена в исходной смеси этих газов:

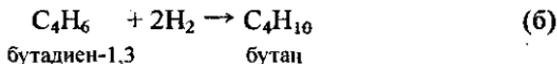
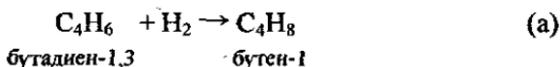
$$\varphi(\text{C}_3\text{H}_8) = \frac{V(\text{C}_3\text{H}_8)}{V_1}; \varphi(\text{C}_3\text{H}_8) = \frac{2}{6} = 0,333, \text{ или } 33,3\%;$$

$$\varphi(\text{C}_3\text{H}_6) = \frac{V(\text{C}_3\text{H}_6)}{V_1}; \varphi(\text{C}_3\text{H}_6) = \frac{4}{6} = 0,667, \text{ или } 66,7\%.$$

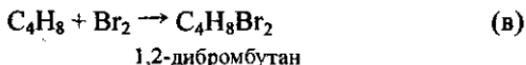
**17.21.** Имеется газовая смесь объемом 20 л, содержащая этан, этилен и водород. Эту смесь пропустили над нагретым платиновым катализатором. После приведения продуктов реакции к исходным условиям объем смеси составил 13 л, из которых 1 л приходится на долю непрореагировавшего водорода. Определите объемные доли газов в исходной смеси. *Ответ:* 25%  $\text{C}_2\text{H}_6$ ; 35%  $\text{C}_2\text{H}_4$ ; 40%  $\text{H}_2$ .

**17.22.** При гидрировании бутадиена-1,3 массой 8,1 г получили смесь бутана и бутена-1. При пропускании этой смеси через раствор брома образовался 1,2-бромбутан массой 10,8 г. Определите массовые доли углеводородов в полученной смеси.

*Решение.* Гидрирование бутадиена-1,3 протекает в соответствии с уравнениями:



Из компонентов полученной смеси с бромом взаимодействует только бутен-1:



Определяем количество вещества полученного 1,2-дибромбутана:

$$n(\text{C}_4\text{H}_8\text{Br}_2) = \frac{m(\text{C}_4\text{H}_8\text{Br}_2)}{M(\text{C}_4\text{H}_8\text{Br}_2)}; n(\text{C}_4\text{H}_8\text{Br}_2) = \frac{10,8}{216} \text{ моль} = 0,05 \text{ моль}.$$

Из уравнения реакции (в) следует:

$$n(\text{C}_4\text{H}_8) = n(\text{C}_4\text{H}_8\text{Br}_2); n(\text{C}_4\text{H}_8) = 0,05 \text{ моль}.$$

Определяем массу полученного бутена-1:

$$m(\text{C}_4\text{H}_8) = n(\text{C}_4\text{H}_8) \cdot M(\text{C}_4\text{H}_8); m(\text{C}_4\text{H}_8) = 0,05 \cdot 56 \text{ г} = 2,8 \text{ г}$$

На основании уравнения реакции (а) записываем:

$$n_a(\text{C}_4\text{H}_6) = n(\text{C}_4\text{H}_8); n_a(\text{C}_4\text{H}_6) = 0,05 \text{ моль}$$

0,05 моль — количество вещества бутадиена-1,3, которое вступило в реакцию (а).

Исходное количество вещества бутадиена-1,3 составляет:

$$n(\text{C}_4\text{H}_6) = \frac{m(\text{C}_4\text{H}_6)}{M(\text{C}_4\text{H}_6)}; n(\text{C}_4\text{H}_6) = \frac{8,1}{54} \text{ моль} = 0,15 \text{ моль}$$

Рассчитываем количество вещества бутадиена-1,3, вступившего в реакцию (б):

$$n_b(\text{C}_4\text{H}_6) = n(\text{C}_4\text{H}_6) - n_a(\text{C}_4\text{H}_6); n_b(\text{C}_4\text{H}_6) = (0,15 - 0,05) \text{ моль} = 0,1 \text{ моль}$$

Как следует из уравнения реакции (б),

$$n(\text{C}_4\text{H}_{10}) = n_b(\text{C}_4\text{H}_6); n(\text{C}_4\text{H}_{10}) = 0,1 \text{ моль}$$

Определяем массу полученного бутана:

$$m(\text{C}_4\text{H}_{10}) = n(\text{C}_4\text{H}_{10}) \cdot M(\text{C}_4\text{H}_{10}); m(\text{C}_4\text{H}_{10}) = 0,1 \cdot 58 \text{ г} = 5,8 \text{ г}$$

Находим массу полученной смеси углеводородов:

$$m = m(\text{C}_4\text{H}_8) + m(\text{C}_4\text{H}_{10}); m = (2,8 + 5,8) \text{ г} = 8,6 \text{ г}$$

Рассчитываем массовые доли углеводородов в смеси:

$$w(\text{C}_4\text{H}_8) = \frac{m(\text{C}_4\text{H}_8)}{m}; w(\text{C}_4\text{H}_8) = \frac{2,8}{8,6} = 0,326, \text{ или } 32,6\%$$

$$w(\text{C}_4\text{H}_{10}) = \frac{m(\text{C}_4\text{H}_{10})}{m}; w(\text{C}_4\text{H}_{10}) = \frac{5,8}{8,6} = 0,674, \text{ или } 67,4\%$$

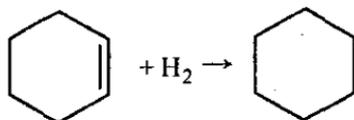
**17.23.** При гидрировании ацетиленом объемом 672 мл (нормальные условия) получили смесь этана и этилена, которая обесцвечивает раствор брома в тетрахлориде углерода массой 40 г, массовая доля брома в котором составляет 4%. Определите массовые доли углеводородов в полученной смеси. *Ответ:* 31,8%  $\text{C}_2\text{H}_4$  и 63,2%  $\text{C}_2\text{H}_6$ .

**17.24.** Технический карбид кальция массой 20 г обработали избытком воды, получив ацетилен, при пропускании которого через

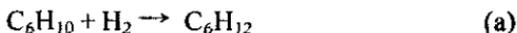
избыток бромной воды образовался 1,1,2,2-тетрабромэтан массой 86,5 г. Определите массовую долю  $\text{CaC}_2$  в техническом карбиде.  
 Ответ: 80%.

**17.25.** Циклогексен массой 12,3 г подвергли гидрированию. Продукт гидрирования сожгли, получив оксид углерода (IV) объемом 13,44 л (нормальные условия). Определите выход продукта гидрирования, если выход продуктов горения — количественный.

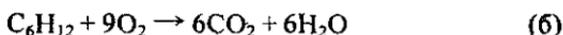
*Решение.* При гидрировании циклогексена образуется циклогексан:



или



Уравнение реакции горения циклогексана:



Вычисляем количество вещества оксида углерода (IV), полученного при горении циклогексана:

$$n(\text{CO}_2) = \frac{V(\text{CO}_2)}{V_m}; n(\text{CO}_2) = \frac{13,44}{22,4} \text{ моль} = 0,6 \text{ моль.}$$

Из уравнения реакции (б) следует:

$$n_p(\text{C}_6\text{H}_{12}) = \frac{1}{6} n(\text{CO}_2); n_p(\text{C}_6\text{H}_{12}) = \frac{1}{6} 0,6 \text{ моль} = 0,1 \text{ моль,}$$

где  $n_p(\text{C}_6\text{H}_{12})$  — количество вещества реально полученного циклогексана.

Находим массу реально полученного циклогексана:

$$m_p(\text{C}_6\text{H}_{12}) = n_p(\text{C}_6\text{H}_{12}) \cdot M(\text{C}_6\text{H}_{12}); m_p(\text{C}_6\text{H}_{12}) = 0,1 \cdot 84 \text{ г} = 8,4 \text{ г.}$$

Определяем количество вещества исходного циклогексена:

$$n(\text{C}_6\text{H}_{10}) = \frac{m(\text{C}_6\text{H}_{10})}{M(\text{C}_6\text{H}_{10})}; n(\text{C}_6\text{H}_{10}) = \frac{12,3}{82} \text{ моль} = 0,15 \text{ моль.}$$

На основании уравнения (а) записываем:

$$n(\text{C}_6\text{H}_{12}) = n(\text{C}_6\text{H}_{10}); n(\text{C}_6\text{H}_{12}) = 0,15 \text{ моль.}$$

0,15 моль — количество вещества циклогексана, который образовался бы при количественном выходе.

Находим массу этого циклогексана:

$$m(\text{C}_6\text{H}_{12}) = n(\text{C}_6\text{H}_{12}) \cdot M(\text{C}_6\text{H}_{12}); m(\text{C}_6\text{H}_{12}) = 0,15 \cdot 84 \text{ г} = 12,6 \text{ г.}$$

Определяем выход циклогексана:

$$\eta(\text{C}_6\text{H}_{12}) = \frac{m_p(\text{C}_6\text{H}_{12}) \cdot 100}{m(\text{C}_6\text{H}_{12})}; \eta(\text{C}_6\text{H}_{12}) = \frac{8,4 \cdot 100}{12,6} \% = 66,7\%.$$

17.26. При дегидрировании этана объемом 89,6 л (нормальные условия) с выходом 80% получили этилен. Какой объем растворителя 1,2-дихлорэтана может быть получен из этого этилена? Плотность 1,2-дихлорэтана принять равной 1,24 г/мл. *Ответ:* 255,5 мл.

17.27. Смесь этана и этилена объемом 10 л подвергли высокотемпературному дегидрированию, в результате которого получили смесь этилена и водорода объемом 16 л. Все объемы приведены к нормальным условиям. Определите объемную и массовую доли этилена в исходной смеси. *Ответ:* объемная доля 40%; массовая доля 38,4%.

17.28. Состав углеводорода выражается формулой  $\text{C}_3\text{H}_4$ . На гидрирование этого углеводорода массой 5 г до предельного соединения затратили водород объемом 2,8 л (нормальные условия). Определите структурную формулу углеводорода и назовите его. *Ответ:* циклопропен.

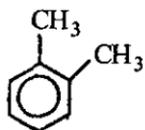
## 18. АРОМАТИЧЕСКИЕ УГЛЕВОДОРОДЫ

18.1. Составьте структурные формулы изомеров, отвечающих формуле  $\text{C}_8\text{H}_{10}$  и содержащих ароматическое кольцо.

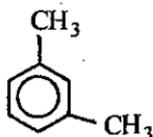
*Решение.* Вещества, в состав молекул которых входят ароматические кольца, отвечающие формуле  $\text{C}_8\text{H}_{10}$ , относятся к гомологам бензола, так как общая формула гомологического ряда бензола  $\text{C}_n\text{H}_{2n-6}$ . Формуле  $\text{C}_8\text{H}_{10}$  отвечают четыре гомолога бензола:



этилбензол



1,2-диметилбензол



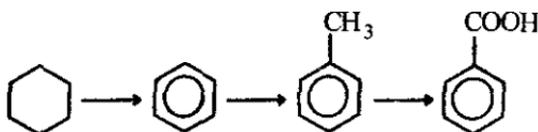
1,3-диметилбензол



1,4-диметилбензол

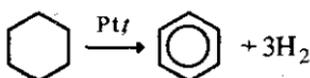
**18.2.** Сколько изомерных гомологов бензола может отвечать формуле  $C_9H_{12}$ ? Напишите структурные формулы изомеров и назовите их. *Ответ:* 8 изомеров.

**18.3.** Напишите уравнения реакций, которые надо провести для осуществления следующих превращений:

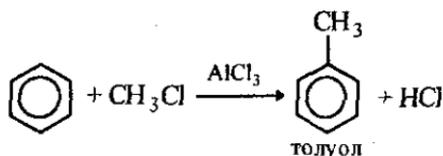


Укажите условия протекания реакций.

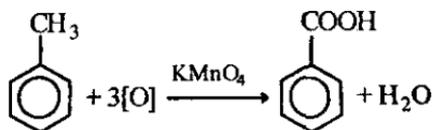
*Решение.* 1. Циклогексан превращается в бензол при пропускании его паров над нагретым платиновым катализатором:



2. Ввести алкильную группу в бензольное кольцо можно действием галогеналкида в присутствии хлорида алюминия:



3. При действии раствора перманганата калия на толуол образуется бензойная кислота:



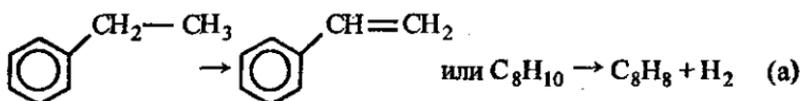
**18.4.** Составьте уравнения реакций, с помощью которых можно осуществить превращения:



Назовите вещество X. Укажите условия протекания реакций.  
*Ответ:* X — ацетилен.

**18.5.** При дегидрировании этилбензола массой 4,24 г получили стирол. Выход продукта реакции составил 75%. Какую массу раствора брома в тетрахлориде углерода может обесцветить полученный стирол, если массовая доля брома в растворе составляет 4%?

*Решение.* Записываем уравнение реакции дегидрирования этилбензола:



Определяем исходное количество вещества этилбензола:

$$n(\text{C}_8\text{H}_{10}) = \frac{m(\text{C}_8\text{H}_{10})}{M(\text{C}_8\text{H}_{10})}; n(\text{C}_8\text{H}_{10}) = \frac{4,24}{106} \text{ моль} = 0,04 \text{ моль.}$$

Из уравнения реакции (а) следует:

$$n(\text{C}_8\text{H}_8) = n(\text{C}_8\text{H}_{10}); n(\text{C}_8\text{H}_8) = 0,04 \text{ моль.}$$

Определяем массу стирола, который мог бы образоваться при количественном выходе:

$$m(\text{C}_8\text{H}_8) = n(\text{C}_8\text{H}_8) \cdot M(\text{C}_8\text{H}_8); m(\text{C}_8\text{H}_8) = 0,04 \cdot 104 \text{ г} = 4,16 \text{ г.}$$

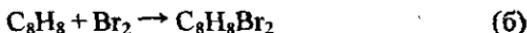
Учитывая выход стирола, определяем массу реально полученного вещества:

$$m_p(\text{C}_8\text{H}_8) = \frac{m(\text{C}_8\text{H}_8) \cdot \eta}{100}; m_p(\text{C}_8\text{H}_8) = \frac{4,16 \cdot 75}{100} \text{ г} = 3,12 \text{ г.}$$

Количество вещества реально полученного стирола в данной реакции составляет:

$$n_p(\text{C}_8\text{H}_8) = \frac{m_p(\text{C}_8\text{H}_8)}{M(\text{C}_8\text{H}_8)}; n_p(\text{C}_8\text{H}_8) = \frac{3,12}{104} \text{ моль} = 0,03 \text{ моль.}$$

Записываем уравнение реакции стирола с бромом:



На основании уравнения (б) записываем:

$$n(\text{Br}_2) = n_p(\text{C}_8\text{H}_8); n(\text{Br}_2) = 0,03 \text{ моль.}$$

Определяем массу брома, который может вступить в реакцию:

$$m(\text{Br}_2) = n(\text{Br}_2) \cdot M(\text{Br}_2); m(\text{Br}_2) = 0,03 \cdot 160 \text{ г} = 4,8 \text{ г.}$$

Находим массу раствора брома в тетрахлориде углерода:

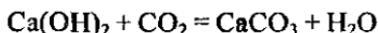
$$m = \frac{m(\text{Br}_2)}{w(\text{Br}_2)}; \quad m = \frac{4,8}{0,04} \text{ г} = 120 \text{ г.}$$

**18.6.** Какой объем водорода, измеренный при нормальных условиях, образуется при циклизации и дегидрировании *n*-гексана объемом 200 мл и плотностью 0,66 г/мл? Реакция протекает с выходом 65%. *Ответ:* 89,4 л.

**18.7.** Какой объем воздуха, измеренный при нормальных условиях, потребуется для полного сгорания 1,4-диметилбензола массой 5,3 г? Объемная доля кислорода в воздухе составляет 21%. *Ответ:* 56 л.

**18.8.** При сжигании гомолога бензола массой 0,92 г в кислороде получили оксид углерода (IV), который пропустили через избыток раствора гидроксида кальция. При этом образовался осадок массой 7 г. Определите формулу углеводорода и назовите его.

*Решение.* Записываем уравнение реакции между оксидом углерода (IV) и гидроксидом кальция, который взят в избытке:



Определяем количество вещества карбоната кальция, полученного в результате реакции:

$$n(\text{CaCO}_3) = \frac{m(\text{CaCO}_3)}{M(\text{CaCO}_3)}; n(\text{CaCO}_3) = \frac{7}{100} \text{ моль} = 0,07 \text{ моль.}$$

Из уравнения реакции следует:

$$n(\text{CO}_2) = n(\text{CaCO}_3); n(\text{CO}_2) = 0,07 \text{ моль.}$$

Вычисляем количество вещества атомного углерода в оксиде углерода (IV):

$$n(\text{C}) = n(\text{CO}_2); n(\text{C}) = 0,07 \text{ моль.}$$

Такое же количество вещества атомного углерода содержалось в исходном углеводороде. Определяем массу углерода:

$$m(\text{C}) = n(\text{C}) \cdot M(\text{C}); m(\text{C}) = 0,07 \cdot 12 \text{ г} = 0,84 \text{ г.}$$

Находим массу водорода, который содержался в углеводороде:

$$m(\text{H}) = m(\text{гомолога бензола}) - m(\text{C}); m(\text{H}) = (0,92 - 0,84) \text{ г} = 0,08 \text{ г}.$$

Количество вещества атомного водорода составляет:

$$n(\text{H}) = \frac{m(\text{H})}{M(\text{H})}; n(\text{H}) = \frac{0,08}{1} \text{ моль} = 0,08 \text{ моль}.$$

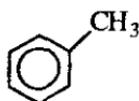
Вычисляем отношение количеств веществ углерода и водорода в веществе:

$$\frac{n(\text{C})}{n(\text{H})} = \frac{0,07}{0,08} = 0,875.$$

Представляем формулу гомолога бензола в виде  $\text{C}_x\text{H}_{2x-6}$ . Отношение количеств веществ углерода и водорода в этом веществе равно  $x$ :  $(2x - 6)$ . Следовательно,

$$\frac{x}{2x - 6} = 0,875.$$

Отсюда получаем:  $x = 7$ , т.е. формула  $\text{C}_7\text{H}_8$ , или



Это — метилбензол или толуол.

**18.9.** Ароматический углеводород, являющийся гомологом бензола, массой 5,3 г, сожгли, получив оксид углерода (IV) объемом 8,96 л (нормальные условия). Определите формулу углеводорода. Сколько изомеров может иметь этот углеводород среди гомологов бензола? Напишите структурные формулы этих изомеров. *Ответ:*  $\text{C}_8\text{H}_{10}$ ; 4 изомерных гомолога бензола.

**18.10.** Из ацетилена объемом 3,36 л (нормальные условия) получили бензол объемом 2,5 мл. Определите выход продукта, если плотность бензола равна 0,88 г/мл. *Ответ:* 56,4%.

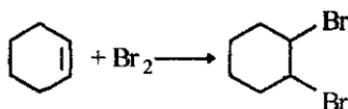
**18.11.** При бромировании бензола в присутствии бромида железа (III) получили бромоводород, который пропустили через избыток раствора нитрата серебра. При этом образовался осадок массой 7,52 г. Вычислите массу полученного продукта бромирования бензола и назовите этот продукт. *Ответ:* 6,28 г; бромбензол.

**18.12.** Бензол, полученный дегидрированием циклогексана объемом 151 мл и плотностью 0,779 г/мл, подвергли хлорированию при

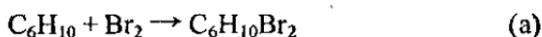
освещении. Образовалось хлорпроизводное массой 300 г. Определите выход продукта реакции. *Ответ:* 73,6%.

**18.13.** Смесь бензола с циклогексеном массой 4,39 г обесцвечивает бромную воду массой 125 г с массовой долей брома 3,2%. Какая масса воды образуется при сжигании в кислороде той же смеси массой 10 г?

*Решение.* С бромной водой взаимодействует только один компонент смеси — циклогексен:



или



Определяем массу и количество вещества брома, вступившего в реакцию:

$$m(\text{Br}_2) = m(\text{бромной воды}) \cdot w(\text{Br}_2); m(\text{Br}_2) = 125 \cdot 0,032 \text{ г} = 4 \text{ г};$$

$$n(\text{Br}_2) = \frac{m(\text{Br}_2)}{M(\text{Br}_2)}; n(\text{Br}_2) = \frac{4}{160} \text{ моль} = 0,025 \text{ моль}.$$

Из уравнения реакции (а) следует:

$$n(\text{C}_6\text{H}_{10}) = n(\text{Br}_2); n(\text{C}_6\text{H}_{10}) = 0,025 \text{ моль}.$$

Определяем массу и массовую долю циклогексена в смеси:

$$m(\text{C}_6\text{H}_{10}) = n(\text{C}_6\text{H}_{10}) \cdot M(\text{C}_6\text{H}_{10}); m(\text{C}_6\text{H}_{10}) = 0,025 \cdot 82 \text{ г} = 2,05 \text{ г};$$

$$w(\text{C}_6\text{H}_{10}) = \frac{m(\text{C}_6\text{H}_{10})}{m}; w(\text{C}_6\text{H}_{10}) = \frac{2,05}{4,39} = 0,467.$$

Вычисляем массовую долю бензола в смеси:

$$w(\text{C}_6\text{H}_6) = 1 - w(\text{C}_6\text{H}_{10}); w(\text{C}_6\text{H}_6) = 1 - 0,467 = 0,533.$$

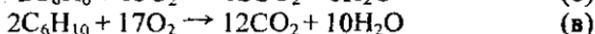
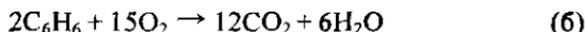
Находим массу и количество вещества бензола и циклогексена в образце смеси массой  $m' = 10 \text{ г}$ :

$$m'(\text{C}_6\text{H}_6) = m' \cdot w(\text{C}_6\text{H}_6); m'(\text{C}_6\text{H}_6) = 10 \cdot 0,533 \text{ г} = 5,33 \text{ г};$$

$$n'(\text{C}_6\text{H}_6) = \frac{m'(\text{C}_6\text{H}_6)}{M(\text{C}_6\text{H}_6)}; n'(\text{C}_6\text{H}_6) = \frac{5,33}{78} \text{ моль} = 0,06833 \text{ моль}.$$

Аналогично получаем:  $m'(C_6H_{10}) = 4,67$  г и  $n'(C_6H_{10}) = 0,05695$  моль.

Записываем уравнения реакции горения бензола и циклогексена:



На основании уравнения (б) записываем:

$$\frac{n(C_6H_6)}{n_6(H_2O)} = \frac{2}{6} = \frac{1}{3}; n_6(H_2O) = 3n(C_6H_6);$$

$$n_6(H_2O) = 3 \cdot 0,06833 \text{ моль} \approx 0,205 \text{ моль.}$$

Точно так же, используя уравнение (в), получаем:

$$n_в(H_2O) = 5n(C_6H_{10}); n_в(H_2O) = 5 \cdot 0,05695 \text{ моль} \approx 0,300 \text{ моль.}$$

Общее количество вещества воды, выделившейся при горении смеси массой 10 г, составляет:

$$n(H_2O) = n_6(H_2O) + n_в(H_2O); n(H_2O) = (0,205 + 0,300) \text{ моль} = 0,505 \text{ моль.}$$

Определяем массу полученной воды:

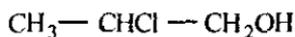
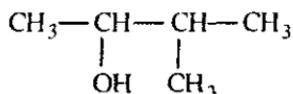
$$m(H_2O) = n(H_2O) \cdot M(H_2O); m(H_2O) = 0,505 \cdot 18 \text{ г} = 9,09 \text{ г.}$$

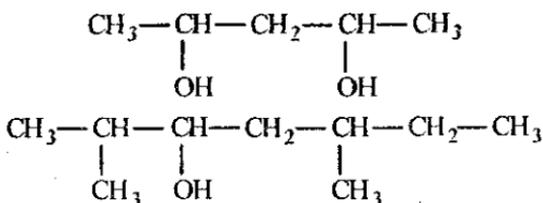
**18.14.** Смесь бензола и стирола некоторой массы обесцвечивает бромную воду массой 500 г с массовой долей брома 3,2%. При сжигании смеси той же массы выделился оксид углерода (IV) объемом 44,8 л (нормальные условия). Определите массовые доли бензола и стирола в смеси. *Ответ:* 60% бензола, 40% стирола.

## 19. СПИРТЫ И ФЕНОЛЫ

### Номенклатура, свойства и получение спиртов и фенолов

19.1. Назовите по заместительной номенклатуре следующие соединения:

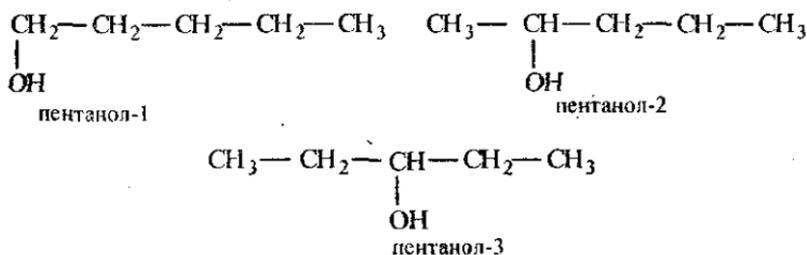




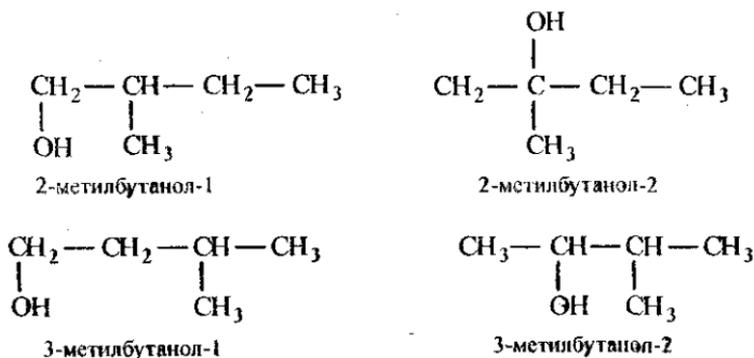
19.2. Напишите структурные формулы следующих соединений: 3-бромгексанол-2; 2-метил-3-этилпентанол-1; 2, 7-дихлороктандиол-4,4; 2-этилфенол; 5-метил-3-бромфенол; 3,4,5-триэтилфенол.

19.3. Напишите структурные формулы изомерных спиртов состава  $\text{C}_5\text{H}_{11}\text{OH}$  и назовите их по заместительной номенклатуре.

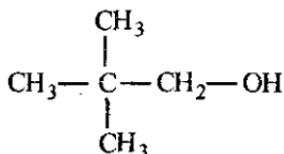
Решение. Изомерия спиртов связана как с положением группы  $\text{OH}$  в молекуле, так и с разветвленностью углеродного скелета. При нормальной углеродной цепи возможно существование трех изомеров:



Четыре изомерных спирта могут иметь по 4 атома углерода в главной цепи:



Кроме того имеется один изомер, содержащий три атома углерода в главной цепи:



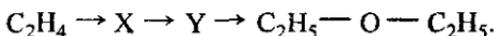
Таким образом, формула  $\text{C}_5\text{H}_{11}\text{OH}$  отражает состав восьми изомерных спиртов.

19.4. Сколько изомерных спиртов может иметь хлорпропанол  $\text{C}_3\text{H}_6\text{ClOH}$ ? Напишите структурные формулы изомеров и назовите их по заместительной номенклатуре. *Ответ:* 5 изомеров.

19.5. Сколько фенолов могут быть изомерны 2-метил-6-хлорфенолу? Напишите структурные формулы этих фенолов и назовите их. *Ответ:* 12 изомерных фенолов (не считая 2-метил-6-хлорфенола).

19.6. Сколько изомерных третичных спиртов могут иметь состав  $\text{C}_6\text{H}_{13}\text{OH}$ ? Напишите формулы этих спиртов и назовите по заместительной номенклатуре. *Ответ:* три спирта.

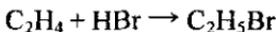
19.7. Напишите уравнения реакций, с помощью которых можно осуществить следующие превращения:



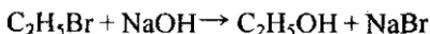
Укажите условия протекания реакций. Назовите вещества X и Y.

*Решение.* Конечный продукт — диэтиловый эфир — получается из этилового спирта, следовательно, вещество Y — этанол. Перейти от этилена к этанолу можно через промежуточное соединение — галогенпроизводное этана (вещество X).

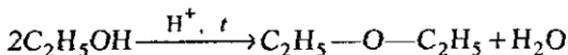
1. При взаимодействии этилена с бромоводородом образуется бромэтан:



2. Бромэтан гидролизуеться до спирта действием водного раствора гидроксида натрия:



3. При нагревании этанола до  $140^\circ\text{C}$  в присутствии серной кислоты в качестве катализатора образуется диэтиловый эфир:



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

- а)  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} \rightarrow \text{C}_2\text{H}_4 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_5\text{Cl} \rightarrow \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$   
 б) пропанол-1  $\rightarrow$  1-бромпропан  $\rightarrow$  н-гексан  $\rightarrow$  бензол  $\rightarrow$   
 $\rightarrow$  изопропилбензол  $\rightarrow$  фенол

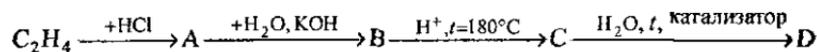
Укажите условия протекания реакций.

19.9. Напишите уравнения реакций, при помощи которых можно осуществить следующие превращения:

- а) пропанол-1  $\rightarrow$  X  $\rightarrow$  пропанол-2  
 б) этанол  $\rightarrow$  Y  $\rightarrow$  1,2-дихлорэтан  
 в) 2-метилпропанол-1  $\rightarrow$  Z  $\rightarrow$  2-метилпропанол-2

Назовите вещества X, Y и Z. Укажите условия протекания реакций.

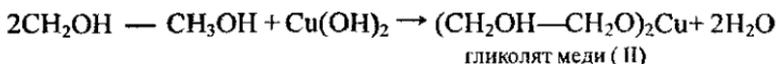
19.10. С помощью каких реакций можно осуществить превращения по схеме



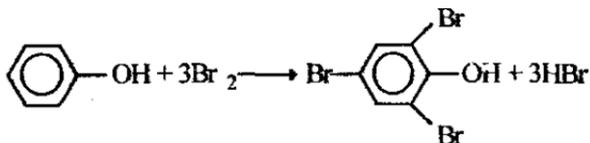
Назовите соединения A, B, C и D. Напишите уравнения реакций.  
 Ответ: A — хлорэтан; B, D — этанол; C — этилен.

19.11. В трех пробирках находятся бутанол-1, этиленгликоль и раствор фенола в бензоле. При помощи каких химических реакций можно различить эти вещества? Напишите уравнения соответствующих реакций.

Решение. К пробе каждого вещества добавим гидроксид меди (II), с которым этиленгликоль образует соединение, имеющее характерную ярко-синюю окраску:

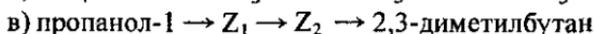
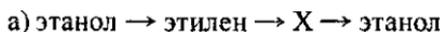


К пробам двух оставшихся веществ добавим бромной воды, которую будет обесцвечивать раствор фенола в бензоле:



**19.12.** В трех пробирках без надписей находятся жидкости: *n*-пропанол, 1-хлорбутан и глицерин. При помощи каких химических реакций можно различить эти вещества? Напишите уравнения этих реакций.

**19.13.** Составьте уравнения реакций, которые надо провести для осуществления следующих превращений:



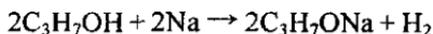
Назовите вещества X, Y, Z<sub>1</sub> и Z<sub>2</sub>. При каких условиях возможно протекание реакции?

*Ответ:* X — хлорэтан; Y — бромметан; Z<sub>1</sub> — пропилен; Z<sub>2</sub> — 2-бромпропан.

### Расчеты по уравнениям реакций с участием предельных одноатомных спиртов

**19.14.** Какая масса пропилата натрия может быть получена при взаимодействии пропанола-1 массой 15 г с натрием массой 9,2 г?

*Решение.* Записываем уравнение реакции между пропанолом-1 и металлическим натрием:



Определяем количество вещества пропанола-1 и натрия:

$$n(\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}) = \frac{m(\text{C}_3\text{H}_7\text{OH})}{M(\text{C}_3\text{H}_7\text{OH})}; n(\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}) = \frac{15}{60} \text{ моль} = 0,25 \text{ моль.}$$

$$n(\text{Na}) = \frac{m(\text{Na})}{M(\text{Na})}; n(\text{Na}) = \frac{9,2}{23} \text{ моль} = 0,4 \text{ моль.}$$

Из уравнения реакции следует, что количества веществ взаимодействующих спирта и натрия должны быть равны, следовательно, натрий взят в избытке.

На основании уравнения реакции записываем:

$$n(\text{C}_3\text{H}_7\text{ONa}) = n(\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}); n(\text{C}_3\text{H}_7\text{ONa}) = 0,25 \text{ моль.}$$

Определяем массу пропилата натрия, которую можно получить:

$$m(\text{C}_3\text{H}_7\text{ONa}) = n(\text{C}_3\text{H}_7\text{ONa}) \cdot M(\text{C}_3\text{H}_7\text{ONa}); m(\text{C}_3\text{H}_7\text{ONa}) = 0,25 \cdot 82 \text{ г} = 20,5 \text{ г}.$$

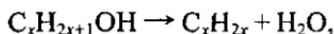
**19.15.** При взаимодействии бутанола-1 с избытком металлического натрия выделился водород, занимающий при нормальных условиях объем 2,8 л. Какое количество вещества бутанола-1 вступило в реакцию? *Ответ:* 0,25 моль.

**19.16.** Метанол количеством вещества 0,5 моль нагрели с избытком бромида калия и серной кислоты, получили бромметан массой 38 г. Определите выход бромметана. *Ответ:* 80%.

**19.17.** При дегидратации пропанола-2 получили пропилен, который обесцветил бромную воду массой 200 г. Массовая доля брома в бромной воде равна 3,2%. Определите массу пропанола-2, взятую для реакции. *Ответ:* 2,4 г.

**19.18.** При нагревании предельного одноатомного спирта массой 12 г с концентрированной серной кислотой образовался алкен массой 6,3 г. Выход продукта составил 75%. Определите формулу исходного спирта.

*Решение.* Представляем формулу спирта в виде  $\text{C}_x\text{H}_{2x+1}\text{OH}$ , тогда уравнение реакции его дегидратации будет выглядеть следующим образом:



где  $\text{C}_x\text{H}_{2x}$  — образующийся алкен.

Молярная масса спирта составляет:

$$M(\text{C}_x\text{H}_{2x+1}\text{OH}) = [12x + 1(2x + 1) + 16 + 1] \text{ г/моль} = (14x + 18) \text{ г/моль}.$$

Аналогично получаем:

$$M(\text{C}_x\text{H}_{2x}) = (12x + 2x) \text{ г/моль} = 14x \text{ г/моль}.$$

Определяем массу алкена, которая была бы получена при количественном выходе этого вещества:

$$m(\text{C}_x\text{H}_{2x}) = \frac{m_p(\text{C}_x\text{H}_{2x}) \cdot 100}{\eta}; m(\text{C}_x\text{H}_{2x}) = \frac{6,3 \cdot 100}{75} \text{ г} = 8,4 \text{ г}.$$

Вычисляем количества веществ спирта и алкена:

$$n(\text{C}_x\text{H}_{2x+1}\text{OH}) = \frac{m(\text{C}_x\text{H}_{2x+1}\text{OH})}{M(\text{C}_x\text{H}_{2x+1}\text{OH})}; n(\text{C}_x\text{H}_{2x+1}\text{OH}) = \frac{12}{14x + 18} \text{ моль};$$

$$n(\text{C}_x\text{H}_{2x}) = \frac{m(\text{C}_x\text{H}_{2x})}{M(\text{C}_x\text{H}_{2x})}; n(\text{C}_x\text{H}_{2x}) = \frac{8,4}{14x} \text{ моль} = \frac{0,6}{x} \text{ моль.}$$

Из уравнения реакции следует:

$$n(\text{C}_x\text{H}_{2x+1}\text{OH}) = n(\text{C}_x\text{H}_{2x}),$$

или

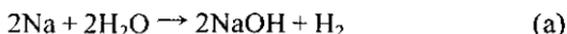
$$\frac{12}{14x+18} = \frac{0,6}{x}.$$

Решая полученное уравнение, находим, что  $x = 3$ , т.е. формула спирта  $\text{C}_3\text{H}_{7}\text{OH}$ . Это — пропанол.

**19.19.** Определите формулу предельного одноатомного спирта, если при дегидратации образца его объемом 37 мл и плотностью 1,4 г/мл получили алкен массой 39,2 г. *Ответ:*  $\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$ .

**19.20.** Натрий массой 12 г поместили в этанол объемом 23 мл и плотностью 0,8 г/мл. Массовая доля воды в этаноле составляет 5%. Какой объем водорода выделится при этом? Объем рассчитайте при нормальных условиях.

*Решение.* Натрий, помещенный в этанол, который содержит воду, будет взаимодействовать с водой и спиртом:



Определяем массу и количество вещества воды, этанола и натрия, помещенных в реакционную систему. Масса этанола с водой составляет:

$$m = V\rho; m = 23 \cdot 0,8 \text{ г} = 18,4 \text{ г};$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = mw(\text{H}_2\text{O}); m(\text{H}_2\text{O}) = 18,4 \cdot 0,05 \text{ г} = 0,92 \text{ г};$$

$$n(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{M(\text{H}_2\text{O})}; n(\text{H}_2\text{O}) = \frac{0,92}{18} \text{ моль} = 0,051 \text{ моль};$$

$$m(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = m - m(\text{H}_2\text{O}); m(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = (18,4 - 0,92) \text{ г} = 17,48 \text{ г};$$

$$n(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = \frac{m(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})}{M(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})}; n(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = \frac{17,48}{46} \text{ моль} = 0,380 \text{ моль};$$

$$n(\text{Na}) = \frac{m(\text{Na})}{M(\text{Na})}; n(\text{Na}) = \frac{12}{23} \text{ моль} = 0,522 \text{ моль.}$$

Определяем количество вещества натрия, необходимого для реакции (а):

$$n_a(\text{Na}) = n(\text{H}_2\text{O}); n_a(\text{Na}) = 0,051 \text{ моль};$$

для реакции (б):

$$n_b(\text{Na}) = n(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}); n_b(\text{Na}) = 0,380 \text{ моль.}$$

Вычисляем количество вещества натрия, необходимого для взаимодействия с водой и спиртом:

$$n'(\text{Na}) = n_a(\text{Na}) + n_b(\text{Na}); n'(\text{Na}) = (0,051 + 0,380) \text{ моль} = 0,431 \text{ моль.}$$

Следовательно, натрий имеется в реакционной системе в избытке.

Определяем количество вещества молекулярного водорода, полученного в реакциях (а) и (б):

$$n_a(\text{H}_2) = \frac{1}{2} n(\text{H}_2\text{O}); n_a(\text{H}_2) = \frac{1}{2} 0,051 \text{ моль} \approx 0,026 \text{ моль};$$

$$n_b(\text{H}_2) = \frac{1}{2} n(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}); n_b(\text{H}_2) = \frac{1}{2} 0,380 \text{ моль} = 0,190 \text{ моль.}$$

Находим общее количество вещества водорода, который получили по реакциям (а) и (б):

$$n(\text{H}_2) = n_a(\text{H}_2) + n_b(\text{H}_2); n(\text{H}_2) = (0,026 + 0,190) \text{ моль} = 0,216 \text{ моль.}$$

Определяем объем водорода при нормальных условиях:

$$V(\text{H}_2) = n(\text{H}_2) \cdot V_m; V(\text{H}_2) = 0,216 \cdot 22,4 \text{ л} = 4,84 \text{ л.}$$

**19.21.** Какая масса металлического натрия прореагирует с раствором пропанола-1 массой 200 г, массовая доля воды в котором 10%? Какой объем водорода, измеренный при нормальных условиях, выделится при этой реакции? *Ответ:* 94,5 г Na; 46 г H<sub>2</sub>.

**19.22.** Какую массу карбида кальция надо добавить к спирту объемом 150 мл и плотностью 0,8 г/мл для получения абсолютно-го (безводного) спирта, если массовая доля этанола в спирте со-

ставляет 96%? Какая масса абсолютного спирта будет получена при этом? *Ответ:* 8,53 г  $\text{CaC}_2$ ; 115,2 г абсолютного спирта.

**19.23.** Из технического карбида кальция массой 4 г при действии избытка воды можно получить газ объемом 1,12 л (нормальные условия). Какую массу технического карбида надо взять для получения этанола массой 19,6 г, массовая доля воды в котором составляет 6%? *Ответ:* 32 г.

**19.24.** При каталитической дегидратации этанола массой 1,84 г получили газ, который прореагировал с бромом, содержавшимся в хлороформовом растворе массой 50 г. Массовая доля брома в этом растворе равна 8%. Определите выход продукта дегидратации спирта, если выход в реакции бромирования количественный. *Ответ:* 62,5%.

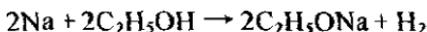
**19.25.** Предельный одноатомный спирт массой 30 г взаимодействует с избытком металлического натрия, образуя водород, объем которого при нормальных условиях составил 5,6 л. Определите формулу спирта. *Ответ:*  $\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}$ .

**19.26.** При получении синтетического каучука по способу Лебедева в качестве исходного сырья используют этанол, пары которого пропускают над катализатором, получая бутадиен-1,3, водород и воду. Какую массу бутадиена-1,3 можно получить из спирта объемом 230 л и плотностью 0,8 кг/л, если массовая доля этанола в спирте равна 95%? Учтите, что выход продукта составляет 60%. *Ответ:* 61,56 кг.

**19.27.** Метанол получают взаимодействием оксида углерода (II) с водородом. Для реакции взяты оксид углерода (II) объемом 2 м<sup>3</sup> и водород объемом 5 м<sup>3</sup> (объемы приведены к нормальным условиям). В результате получили метанол массой 2,04 кг. Определите выход продукта. *Ответ:* 71,4%.

**19.28.** Какую массу металлического натрия и абсолютного этанола надо взять для получения этанольного раствора массой 200 г, массовая доля этилата натрия в котором равна 10,2%?

*Решение.* Записываем уравнение реакции между натрием и этанолом:



Определяем массу и количество вещества этилата натрия, который должен образоваться:

$$m(\text{C}_2\text{H}_5\text{ONa}) = mw(\text{C}_2\text{H}_5\text{ONa}); m(\text{C}_2\text{H}_5\text{ONa}) = 200 \cdot 0,102 \text{ г} = 20,4 \text{ г};$$

$$n(\text{C}_2\text{H}_5\text{ONa}) = \frac{m(\text{C}_2\text{H}_5\text{ONa})}{M(\text{C}_2\text{H}_5\text{ONa})}; n(\text{C}_2\text{H}_5\text{ONa}) = \frac{20,4}{68} \text{ моль} = 0,3 \text{ моль}.$$

Масса этанола, которая будет находиться в растворе после реакции, составит:

$$m_2(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = m - m(\text{C}_2\text{H}_5\text{ONa}); m_2(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = (200 - 20,4) \text{ г} = 179,6 \text{ г}.$$

Из уравнения реакции следует:

$$n(\text{Na}) = n(\text{C}_2\text{H}_5\text{ONa}); n(\text{Na}) = 0,3 \text{ моль};$$

$$n_1(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = n(\text{C}_2\text{H}_5\text{ONa}); n_1(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 0,3 \text{ моль};$$

0,3 моль — количества вещества натрия и этанола, которые вступят в реакцию.

Определяем их массы:

$$m(\text{Na}) = n(\text{Na}) \cdot M(\text{Na}); m(\text{Na}) = 0,3 \cdot 23 \text{ г} = 6,9 \text{ г};$$

$$m_1(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = n_1(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) \cdot M(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}); m_1(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 0,3 \cdot 46 \text{ г} = 13,8 \text{ г}.$$

Масса этанола, необходимая для реакции, составляет:

$$m(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = m_1(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) + m_2(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}); m(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = (13,8 + 179,6) = 193,4 \text{ г}$$

**19.29.** Определите массовую долю алкоголята натрия в его спиртовом растворе, полученном в результате реакции между металлическим натрием массой 2,3 г и абсолютным этанолом объемом 50 мл и плотностью 0,79 г/мл. *Ответ:* 16,3%.

**19.30.** Из пропанола-2 массой 24 г получили 2-бромпропан, который использовали для получения 2,3-диметилбутана. Какая масса диметилбутана образовалась, если выход продуктов на каждой стадии синтеза составил 60%? *Ответ:* 6,2 г.

**19.31.** При взаимодействии бутанола-2 массой 7,4 г с избытком бромоводородной кислоты получили бромпроизводное, из которого синтезировали 3,4-диметилгексан массой 3,99 г. Определите выход продукта реакции. *Ответ:* 70%.

**19.32.** Дегидратацией предельного одноатомного спирта получили алкен симметричного строения с неразветвленной цепью массой 8,4 г, который взаимодействует с бромом массой 24 г. Опреде-

лите структурную формулу исходного спирта и назовите его. *Ответ:* бутанол-2.

19.33. При нагревании предельного одноатомного спирта с концентрированной бромоводородной кислотой образуется соединение, массовая доля брома в котором составляет 73,4%. Определите формулу исходного спирта. *Ответ:*  $C_2H_5OH$ .

19.34. Какой объем водорода, измеренный при нормальных условиях, может быть получен при взаимодействии металлического натрия массой 1,6 г со смесью метанола и этанола массой 2,48 г? Массовая доля метанола в смеси составляет 25,8%, этанола — 74,2%. *Ответ:* 672 мл.

### Расчеты по уравнениям реакций с участием фенолов

19.35. Какая масса фенолята натрия может быть получена при взаимодействии фенола массой 4,7 г с раствором гидроксида натрия объемом 4,97 мл и плотностью 1,38 г/мл? Массовая доля гидроксида натрия в растворе составляет 35%. *Ответ:* 5,8 г.

19.36. При взаимодействии раствора фенола в бензоле массой 200 г с избытком бромной воды получили бромпроизводное массой 66,2 г. Определите массовую долю фенола в растворе. *Ответ:* 9,4%.

19.37. Имеется смесь фенола с этанолом. К одной половине смеси добавили избыток металлического натрия, получив водород объемом 672 мл (нормальные условия). К другой половине смеси добавили избыток раствора брома, при этом образовался осадок массой 6,62 г. Определите массовые доли фенола и этанола в смеси.

*Решение.* Обозначаем буквой  $m$  массу половины смеси, т.е. массу образца смеси, который берется для каждого из опытов.

В реакцию с бромом вступает только один компонент смеси — фенол:



Определяем количество вещества полученного 2,4,6-трибромфенола:

$$\begin{aligned} n(C_6H_2Br_3OH) &= \frac{m(C_6H_2Br_3OH)}{M(C_6H_2Br_3OH)}; \quad n(C_6H_2Br_3OH) = \frac{6,62}{331} \text{ моль} = \\ &= 0,02 \text{ моль.} \end{aligned}$$

Из уравнения реакции (а) следует:

$$n(\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}) = n(\text{C}_6\text{H}_2\text{Br}_3\text{OH}); n(\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}) = 0,02 \text{ моль.}$$

Масса фенола в смеси массой  $m$  составляет:

$$m(\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}) = n(\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}) \cdot M(\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}); m(\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}) = 0,02 \cdot 94 \text{ г} = 1,88 \text{ г.}$$

Фенол, содержащийся в другой пробе массой  $m$ , реагирует с натрием:



На основании уравнения (б) записываем:

$$n_6(\text{H}_2) = \frac{1}{2} n(\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}); n_6(\text{H}_2) = \frac{1}{2} 0,02 \text{ моль} = 0,01 \text{ моль.}$$

0,01 моль — количество вещества водорода, которое выделится при взаимодействии натрия с фенолом.

Натрий также взаимодействует с этанолом:



Общее количество вещества водорода, образовавшегося в реакциях (б) и (в), составляет:

$$n(\text{H}_2) = \frac{V(\text{H}_2)}{V_m}; n(\text{H}_2) = \frac{0,672}{22,4} \text{ моль} = 0,03 \text{ моль.}$$

Определяем количество вещества водорода, полученного по реакции (в):

$$n_{\text{в}}(\text{H}_2) = n(\text{H}_2) - n_6(\text{H}_2); n_{\text{в}}(\text{H}_2) = (0,03 - 0,01) = 0,02 \text{ моль.}$$

Как следует из уравнения реакции (в),

$$n(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 2n_{\text{в}}(\text{H}_2); n(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 2 \cdot 0,02 \text{ моль} = 0,04 \text{ моль.}$$

Находим массу этанола в образце смеси массой  $m$ :

$$m(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = n(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) \cdot M(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}); m(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 0,04 \cdot 46 \text{ г} = 1,84 \text{ г.}$$

Масса образца смеси равна:

$$m = m(\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}) + m(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}); m = (1,88 + 1,84) \text{ г} = 3,72 \text{ г.}$$

Определяем массовые доли компонентов смеси:

$$w(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = \frac{m(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})}{m}; \quad w(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = \frac{1,84}{3,72} = 0,495,$$

или 49,5%;

$$w(\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}) = \frac{m(\text{C}_6\text{H}_5\text{OH})}{m}; \quad w(\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}) = \frac{1,88}{3,72} = 0,505,$$

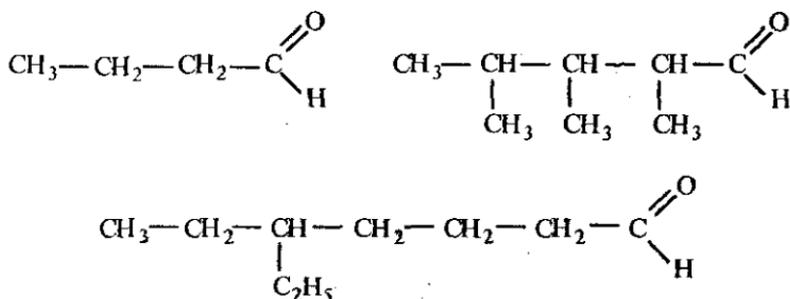
или 50,5%.

19.38. На нейтрализацию смеси фенола с этанолом затратили раствор объемом 50 мл с массовой долей гидроксида натрия 18% и плотностью 1,2 г/мл. Такая же масса смеси прореагировала с металлическим натрием массой 9,2 г. Определите массовые доли фенола и этанола в смеси. *Ответ:* фенола 80,9%; этанола 19,1%.

## 20. АЛЬДЕГИДЫ

20.1. Напишите структурные формулы следующих альдегидов: 2-метилпентаналь, 2,3-диметилбутаналь, гексаналь.

20.2. Назовите по заместительной номенклатуре следующие альдегиды:



20.3. Напишите уравнения реакций, которые надо провести для осуществления следующих превращений:

а) уксусный альдегид  $\rightarrow$  этанол  $\rightarrow$  этилен  $\rightarrow$  ацетилен  $\rightarrow$  уксусный альдегид;

б) метан  $\rightarrow$  метанол  $\rightarrow$  формальдегид  $\rightarrow$  фенолформальдегидная смола.

20.4. Какое количество вещества формальдегида содержится в растворе объемом 3 л и плотностью 1,06 г/мл, массовая доля  $\text{CH}_2\text{O}$  в котором равна 20%? *Ответ:* 21,2 моль.

20.5. Какой объем формальдегида надо растворить в воде массой 300 г для получения формалина с массовой долей формальдегида 40%? Объем рассчитайте при нормальных условиях. Какая масса формалина будет получена? *Ответ:*  $\text{CH}_2\text{O}$  объемом 149,3 л; формалин массой 500 г.

20.6. При взаимодействии этанола массой 13,8 г с оксидом меди (II) массой 28 г получили альдегид, масса которого составила 9,24 г. Определите выход продукта реакции. *Ответ:* 70%.

20.7. В промышленности ацетальдегид получают по способу Кучерова. Какую массу ацетальдегида можно получить, исходя из технического карбида кальция массой 500 кг, массовая доля примесей в котором составляет 10,4%? Выход ацетальдегида 75%. *Ответ:* 231 кг.

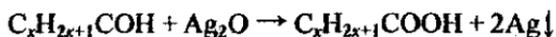
20.8. При каталитическом гидрировании формальдегида получили спирт, при взаимодействии которого с избытком металлического натрия образовался водород объемом 8,96 л (нормальные условия). Выход продуктов на каждой из стадий синтеза составил 80%. Определите исходную массу формальдегида. *Ответ:* 37,5 г.

20.9. Какая масса серебра будет получена в результате реакции «серебряного зеркала», если к избытку аммиачного раствора оксида серебра добавить водный раствор массой 50 г с массовой долей пропаналя 11,6%. *Ответ:* 21,6 г.

20.10. Ацетилен объемом 280 мл (нормальные условия) был использован для получения ацетальдегида, выход которого составил 80%. Какая масса металла может быть получена при добавлении всего полученного альдегида к избытку аммиачного раствора оксида серебра? *Ответ:* 2,16 г.

20.11. К водному раствору массой 4 г с массовой долей некоторого альдегида 22% прилили избыток аммиачного раствора оксида серебра. При этом образовался осадок массой 4,32 г. Определите формулу исходного альдегида.

*Решение.* Уравнение реакции между альдегидом  $\text{C}_x\text{H}_{2x+1}\text{COH}$  и аммиачным раствором оксида серебра выглядит следующим образом:



Определяем количество вещества серебра, полученного в результате реакции:

$$n(\text{Ag}) \frac{m(\text{Ag})}{M(\text{Ag})}; n(\text{Ag}) = \frac{4,32}{108} \text{ моль} = 0,04 \text{ моль.}$$

Молярную массу альдегида можно выразить следующим образом:

$$M(\text{C}_x\text{H}_{2x+1}\text{COH}) = [(x+1)12 + (2x+2)1 + 1 \cdot 16] \text{ г/моль} = \\ = (14x + 30) \text{ г/моль.}$$

Находим массу полученного альдегида:

$$m(\text{C}_x\text{H}_{2x+1}\text{COH}) = m_w(\text{C}_x\text{H}_{2x+1}\text{COH}); \\ m(\text{C}_x\text{H}_{2x+1}\text{COH}) = 4 \cdot 0,22 \text{ г} = 0,88 \text{ г.}$$

Количество вещества альдегида составляет:

$$n(\text{C}_x\text{H}_{2x+1}\text{COH}) = \frac{m(\text{C}_x\text{H}_{2x+1}\text{COH})}{M(\text{C}_x\text{H}_{2x+1}\text{COH})}; n(\text{C}_x\text{H}_{2x+1}\text{COH}) = \\ = \frac{0,88}{14x + 30} \text{ моль.}$$

Из уравнения реакции следует:

$$\frac{n(\text{C}_x\text{H}_{2x+1}\text{COH})}{n(\text{Ag})} = \frac{1}{2},$$

или

$$\frac{0,88}{(14x + 30)0,04} = \frac{1}{2}.$$

Решая полученное уравнение, находим  $x = 1$ , т. е. формула альдегида  $\text{CH}_3\text{COH}$ . Это — уксусный альдегид.

20.12. При окислении паров спирта массой 2,3 г над избытком оксида меди (II) получили альдегид и медь массой 3,2 г. Какой альдегид получен? Определите массу альдегида, если его выход составил 75%. *Ответ:* 1,65 г уксусного альдегида.

20.13. Массовые доли углерода, водорода и кислорода в альдегиде составляют соответственно 62,1, 10,3 и 27,6%. Какой объем водорода потребуется для гидрирования этого альдегида массой

14,5 г до спирта? Объем рассчитайте при нормальных условиях.

*Ответ:* 5,6 л.

**20.14.** Один из промышленных способов получения альдегидов — нагревание алкенов с оксидом углерода (II) и водородом при повышенном давлении в присутствии катализатора. Для такой реакции был взят пропилен объемом 140 л (нормальные условия) и избыток других веществ. Какая масса бутаналь и 2-метилпропаналь будет получена, если в результате образуется смесь этих альдегидов, массовая доля бутаналь в которой составляет 60%?

*Ответ:* 270 г бутаналь и 180 г 2-метилпропаналь.

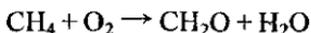
**20.15.** При окислении некоторого кислородсодержащего органического вещества массой 1,8 г аммиачным раствором оксида серебра получили серебро массой 5,4 г. Какое органическое вещество подвергнуто окислению? *Ответ:* бутаналь.

**20.16.** Из карбида кальция массой 7,5 г, содержащего примеси (массовая доля примесей равна 4%), получили ацетилен, который был превращен в альдегид по реакции Кучерова. Какая масса серебра выделится при взаимодействии всего полученного альдегида с аммиачным раствором оксида серебра? *Ответ:* 24,3 г.

**20.17.** При окислении этанола образовался альдегид с 80%-ным выходом. При взаимодействии такой же массы этанола с металлическим натрием выделился водород, занимающий при нормальных условиях объем 2,8 л (выход — количественный). Определите массу образовавшегося альдегида в первой реакции. *Ответ:* 8,8 г.

**20.18.** Какая масса формалина с массовой долей формальдегида 40% может образоваться, если использовать альдегид, полученный при каталитическом окислении метана объемом 336 л (нормальные условия) кислородом воздуха? Выход продуктов в реакции окисления равен 60%.

*Решение.* Каталитическое окисление метана приводит к образованию формальдегида:



Определяем количество вещества метана:

$$n(\text{CH}_4) = \frac{V(\text{CH}_4)}{V_m}; n(\text{CH}_4) = \frac{336}{22,4} \text{ моль} = 15 \text{ моль}.$$

Из уравнения реакции следует:

$$n(\text{CH}_2\text{O}) = n(\text{CH}_4); n(\text{CH}_2\text{O}) = 15 \text{ моль.}$$

Масса формальдегида, которая образуется при количественном выходе, составляет:

$$m(\text{CH}_2\text{O}) = n(\text{CH}_2\text{O}) \cdot M(\text{CH}_2\text{O}); m(\text{CH}_2\text{O}) = 15 \cdot 30 \text{ г} = 450 \text{ г.}$$

Определяем массу реально полученного формальдегида, учитывая его выход:

$$m_p(\text{CH}_2\text{O}) = \frac{m(\text{CH}_2\text{O}) \cdot \eta}{100}; m_p(\text{CH}_2\text{O}) = \frac{450 \cdot 60}{100} \text{ г} = 270 \text{ г.}$$

Находим массу полученного раствора формалина с массовой долей формальдегида 0,4 (40%):

$$m = \frac{m_p(\text{CH}_2\text{O})}{w(\text{CH}_2\text{O})}; m = \frac{270}{0,4} \text{ г} = 675 \text{ г.}$$

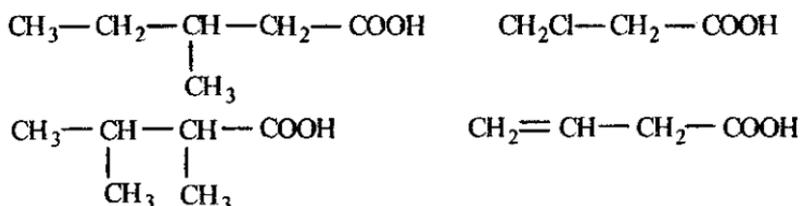
**20.19.** Какая масса раствора с массовой долей ацетальдегида 20% образуется, если альдегид получили с выходом 75% из ацетилена объемом 6,72 л (нормальные условия) по реакции Кучерова?  
*Ответ:* 49,5 г.

**20.20.** При сжигании альдегида массой 0,9 г образовался оксид углерода (IV), который прореагировал с раствором гидроксида натрия объемом 16,4 мл и плотностью 1,22 г/мл с образованием средней соли. Массовая доля гидроксида натрия в этом растворе равна 20%. Определите формулу сожженного альдегида. Сколько изомерных альдегидов могут соответствовать этой формуле? Напишите их структурные формулы. *Ответ:* бутаналь; 2 изомерных альдегида.

## 21. КАРБОНОВЫЕ КИСЛОТЫ

### Номенклатура, химические свойства и получение карбоновых кислот

**21.1.** Назовите следующие кислоты по заместительной номенклатуре:



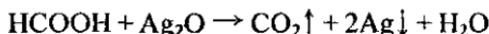
**21.2.** Напишите структурные формулы следующих кислот: 2-метилпропановая кислота, 2,3,4-трихлорбутановая кислота, 3,4-диметилгептановая кислота.

**21.3.** Сколько изомерных карбоновых кислот может соответствовать формуле  $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2$ ? Напишите структурные формулы этих изомеров. *Ответ:* 4 изомера.

**21.4.** В трех пробирках без надписей находятся следующие вещества: этанол, муравьиная кислота, уксусная кислота. При помощи каких химических методов можно различить эти вещества?

*Решение.* Спирт (этанола) можно отличить по действию веществ на индикаторы. Например, кислоты дают красное окрашивание с индикатором метиловым оранжевым, спирт — нет.

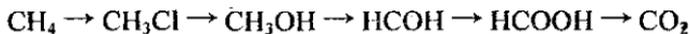
Различить муравьиную и уксусную кислоты легко, так как муравьиная кислота проявляет некоторые свойства альдегидов. Например, она вступает в реакцию «серебряного зеркала» (уксусная — нет):



**21.5.** В четырех пробирках находятся следующие вещества: пропионовая кислота, раствор формальдегида, раствор фенола в бензоле, метанол. При помощи каких химических реакций можно различить эти вещества?

**21.6.** Сколько изомерных одноосновных карбоновых кислот может соответствовать формуле  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2$ ? Напишите структурные формулы этих кислот и назовите их по заместительной номенклатуре. *Ответ:* 8 изомерных кислот.

**21.7.** Напишите уравнения реакций, с помощью которых можно осуществлять следующие превращения:



Укажите условия протекания реакций.

**21.8.** Составьте уравнения реакций, которые надо провести для осуществления следующих превращений:

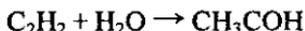


Назовите вещества X и Y.

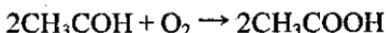
*Решение.* 1. При нагревании метана получают ацетилен — вещество X:



2. Гидратацией ацетилена в присутствии солей ртути (II) синтезируют уксусный альдегид — вещество Y:



3. Окислив уксусный альдегид кислородом воздуха в присутствии катализаторов, получают уксусную кислоту:



**21.9.** С помощью каких реакций можно осуществить превращения по следующим схемам:

а) метанол  $\rightarrow$  X  $\rightarrow$  формиат натрия;

б) уксусный альдегид  $\rightarrow$  Y  $\rightarrow$  ацетат кальция.

Напишите уравнения этих реакций. Назовите вещества X и Y.

*Ответ:* X — муравьиная кислота; Y — уксусная кислота.

**21.10.** При помощи каких химических реакций можно различить следующие вещества: глицерин, уксусный альдегид, раствор масляной кислоты, пропанол-1?

### Расчетные задачи

**21.11.** Какой объем уксусной эссенции плотностью 1,070 г/мл надо взять для приготовления столового уксуса объемом 200 мл и плотностью 1,007 г/мл? Массовая доля уксусной кислоты в уксусной эссенции равна 80%, в уксусе — 6%.

*Решение.* Определяем массу раствора уксуса, который надо приготовить:

$$m = V\rho; m = 200 \cdot 1,007 \text{ г} = 201,4 \text{ г.}$$

Расчитываем массу уксусной кислоты, которая содержится в уксусе:

$$m(\text{CH}_3\text{COOH}) = mw(\text{CH}_3\text{COOH}); m(\text{CH}_3\text{COOH}) = 201,4 \cdot 0,06 = 12,1 \text{ г.}$$

Вычисляем массу уксусной эссенции  $m'$ , которая содержит уксусную кислоту массой 12,1 г:

$$m' = \frac{m(\text{CH}_3\text{COOH})}{w'(\text{CH}_3\text{COOH})}; m' = \frac{12,1}{0,8} \text{ г} = 15,1 \text{ г}.$$

Находим объем уксусной эссенции:

$$V' = \frac{m'}{\rho'}; V' = \frac{15,1}{1,07} \text{ мл} = 14,1 \text{ мл}.$$

**21.12.** Какие массы растворов уксусной кислоты с массовой долей  $\text{CH}_3\text{COOH}$  90 и 10% надо взять для получения раствора массой 200 г с массовой долей кислоты 40%? *Ответ:* раствора с массовой долей 90% — 75 г, 10% — 125 г.

**21.13.** В лаборатории имеется раствор объемом 300 мл с массовой долей уксусной кислоты 70% и плотностью 1,07 г/мл. Какой объем воды плотностью 1 г/мл надо прилить к имеющемуся раствору для получения раствора с массовой долей кислоты 30%? Изменением объема при смешении раствора и воды пренебречь. *Ответ:* 428 мл.

**21.14.** Через раствор уксусной кислоты массой 150 г пропустили аммиак объемом 4,48 л (нормальные условия). Определите массовую долю  $\text{CH}_3\text{COOH}$  в полученном растворе, если в исходном растворе массовая доля кислоты составляла 20%.

*Решение.* Аммиак реагирует с уксусной кислотой:



Определяем количество вещества аммиака, вступившего в реакцию:

$$n(\text{NH}_3) = \frac{V(\text{NH}_3)}{V_m}; n(\text{NH}_3) = \frac{4,48}{22,4} \text{ моль} = 0,2 \text{ моль}.$$

Из уравнения реакции следует, что

$$n(\text{CH}_3\text{COOH}) = n(\text{NH}_3); n(\text{CH}_3\text{COOH}) = 0,2 \text{ моль}.$$

0,2 моль — количество вещества уксусной кислоты, вступившей в реакцию.

Определяем массу  $\text{CH}_3\text{COOH}$ :

$$m(\text{CH}_3\text{COOH}) = n(\text{CH}_3\text{COOH}) \cdot M(\text{CH}_3\text{COOH}); m(\text{CH}_3\text{COOH}) = 0,2 \cdot 60 \text{ г} = 12 \text{ г}.$$

Находим массу уксусной кислоты, которая содержалась в растворе:

$$m_1(\text{CH}_3\text{COOH}) = m_1 w_1(\text{CH}_3\text{COOH}); m_1 \text{CH}_3\text{COOH} = 150 \cdot 0,2 \text{ г} = 30 \text{ г}.$$

Вычисляем массу уксусной кислоты, которая осталась в растворе после реакции:

$$m_2(\text{CH}_3\text{COOH}) = m_1(\text{CH}_3\text{COOH}) - m(\text{CH}_3\text{COOH}); m_2(\text{CH}_3\text{COOH}) = (30 - 12) \text{ г} = 18 \text{ г}.$$

Масса раствора увеличилась за счет того, что аммиак остался в растворе. Масса аммиака составляет:

$$m(\text{NH}_3) = n(\text{NH}_3) \cdot M(\text{NH}_3); m(\text{NH}_3) = 0,2 \cdot 17 \text{ г} = 3,4 \text{ г}.$$

Определяем массу раствора после реакции:

$$m_2 = m_1 + m(\text{NH}_3); m_2 = (150 + 3,4) \text{ г} = 153,4 \text{ г}.$$

Находим массовую долю уксусной кислоты в растворе после реакции:

$$w_2(\text{CH}_3\text{COOH}) = \frac{m_2(\text{CH}_3\text{COOH})}{m_2};$$

$$w_2(\text{CH}_3\text{COOH}) = \frac{18}{153,4} = 0,117, \text{ или } 11,7\%.$$

**21.15.** К раствору массой 300 г с массовой долей уксусной кислоты 30% добавили гидроксид натрия массой 20 г. Какой объем раствора с массовой долей гидроксида калия 25% потребуется для нейтрализации раствора, полученного после добавления гидроксида натрия? Плотность раствора КОН равна 1,24 г/мл. *Ответ:* 180,6 мл.

**21.16.** В раствор массой 370 г с массовой долей пропионовой кислоты 60% поместили гидрокарбонат натрия. В результате реакции образовался газ объемом 11,2 л (нормальные условия). Определите массовую долю пропионовой кислоты в полученном растворе. *Ответ:* 47,4%.

**21.17.** Какой объем раствора с массовой долей гидроксида натрия 20% и плотностью 1,22 г/мл потребуется для нейтрализации одноосновной карбоновой кислоты массой 14,8 г? Кислота имеет состав: углерод (массовая доля 48,65%), кислород (43,24%), водород (8,11%). *Ответ:* 32,8 мл.

**21.18.** Определите объем метана, который можно получить при нагревании уксусной кислоты массой 50 г с избытком гидроксида

натрия. Учсть, что массовая доля воды в кислоте составляет 4%, а выход газа равен 75%. Объем рассчитайте при нормальных условиях. *Ответ:* 13,44 л.

**21.19.** Какую массу стеариновой кислоты  $C_{17}H_{35}COOH$  можно получить из жидкого мыла, содержащего стеарат калия массой 96,6 г? Выход кислоты составляет 75%. *Ответ:* 63,9 г.

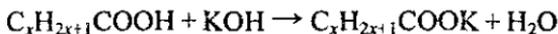
**21.20.** Какую массу раствора с массовой долей уксусной кислоты 90% можно получить, проводя окисление бутана объемом 56 л (нормальные условия) кислородом воздуха, если выход кислоты составляет 60%? *Ответ:* 200 г.

**21.21.** Уксусную кислоту можно получить в три последовательные стадии, используя в качестве исходного вещества карбид кальция. Для реакции взят технический карбид кальция массой 200 г, массовая доля примесей в котором равна 12%. Какая масса кислоты будет получена, если выход продуктов на первой стадии синтеза составляет 80%, на второй – 75%, на третьей – 80%. *Ответ:* 79,2 г.

**21.22.** При пропускании хлора в раствор с массовой долей уксусной кислоты 75% получили хлоруксусную кислоту. Определите ее массовую долю в растворе, считая, что избыточный хлор и хлороводород удалены из раствора. *Ответ:* 82,5%.

**21.23.** На нейтрализацию предельной одноосновной кислоты массой 3,7 г затратили раствор объемом 5 мл с массовой долей гидроксида калия 40% и плотностью 1,4 г/мл. Определите формулу кислоты.

*Решение.* Формулу кислоты представляем в виде  $C_xH_{2x+1}COOH$ , где  $x = 0, 1, 2, 3...$  Уравнение реакции нейтрализации выглядит следующим образом:



Масса раствора гидроксида калия составляет:

$$m = V\rho; m = 5 \cdot 1,4 \text{ г} = 7 \text{ г.}$$

Определяем массу и количество вещества KOH:

$$m(\text{KOH}) = mw(\text{KOH}); m(\text{KOH}) = 7 \cdot 0,4 \text{ г} = 2,8 \text{ г;}$$

$$n(\text{KOH}) = \frac{m(\text{KOH})}{M(\text{KOH})}; n(\text{KOH}) = \frac{2,8}{56} \text{ моль} = 0,05 \text{ моль.}$$

Молярная масса кислоты составляет:

$$M(\text{кислоты}) = [(x+1)12 + (2x+2)1 + 2 \cdot 16] \text{ г/моль} = (14x+46) \text{ г/моль}.$$

Находим количество вещества кислоты, взятой для реакции:

$$n(\text{кислоты}) = \frac{m(\text{кислоты})}{M(\text{кислоты})}; n(\text{кислоты}) = \frac{3,7}{14x+16} \text{ моль}.$$

Из уравнения реакции следует:

$$n(\text{кислоты}) = n(\text{KOH}),$$

следовательно,

$$\frac{3,7}{14x+16} = 0,05.$$

Решая полученное уравнение, находим, что  $x = 2$ .

Таким образом, формула кислоты  $\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}$ . Это пропионовая кислота.

**21.24.** Определите формулу предельной одноосновной карбоновой кислоты, если известно, что на нейтрализацию пробы ее массой 11 г затратили раствор объемом 15,75 мл с массовой долей гидроксида натрия 25% и плотностью 1,27 г/мл. Сколько изомерных кислот соответствует найденной формуле? *Ответ:*  $\text{C}_3\text{H}_7\text{COOH}$ ; две изомерные кислоты.

**21.25.** При окислении муравьиной кислоты получили газ, который пропустили через избыток раствора гидроксида кальция. При этом образовался осадок массой 20 г. Какая масса муравьиной кислоты взята для окисления? *Ответ:* 9,2 г.

**21.26.** Имеется раствор муравьиной кислоты массой 36,8 г. К раствору добавили избыток окислителя. Газ, полученный в результате окисления, пропустили через избыток баритовой воды, в результате чего получили осадок массой 39,4 г. Определите массовую долю кислоты в исходном растворе. *Ответ:* 25%.

**21.27.** Объемная доля метана в природном газе составляет 96%. Какую массу муравьиной кислоты можно получить каталитическим окислением природного газа объемом 420 л (нормальные условия), если выход кислоты составляет 70%? *Ответ:* 579,6 г.

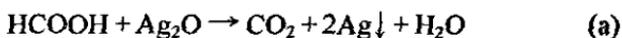
**21.28.** При взаимодействии раствора массой 59,2 г с массовой долей одноосновной предельной карбоновой кислоты 25% с избытком карбоната натрия образовался газ объемом 2,24 л (нормальные условия). Определите формулу кислоты. *Ответ:*  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$ .

**21.29.** Формиат натрия в промышленности получают по реакции между оксидом углерода (II) и твердым гидроксидом натрия при повышенных температуре и давлении. Какая масса раствора муравьиной кислоты с массовой долей HCOOH 25% образуется из формиата натрия, для получения которого взят избыток NaOH и CO объемом 560 л (нормальные условия)? Выход формиата натрия составляет 70%. *Ответ:* 3,22 кг.

**21.30.** Плотность паров одноосновной карбоновой кислоты по водороду равна 37. Какой объем раствора с массовой долей гидроксида калия 20% и плотностью 1,2 г/мл потребуется для нейтрализации этой кислоты массой 22,2 кг? *Ответ:* 70 мл.

**21.31.** На нейтрализацию смеси муравьиной и уксусной кислот затратили раствор объемом 8 мл с массовой долей гидроксида калия 40% и плотностью 1,4 г/мл. К такому же образцу смеси кислот прибавили избыток аммиачного раствора оксида серебра. Выделился металлический осадок массой 10,8 г. Определите массовые доли кислот в смеси.

*Решение.* Записываем уравнения реакций. С аммиачным раствором оксида серебра взаимодействует только муравьиная кислота:



С гидроксидом калия реагируют обе кислоты:



Определяем количество вещества серебра, полученного по реакции (а):

$$n(\text{Ag}) = \frac{m(\text{Ag})}{M(\text{Ag})}; n(\text{Ag}) = \frac{10,8}{108} \text{ моль} = 0,1 \text{ моль}.$$

Из уравнения реакции (а) следует:

$$n(\text{HCOOH}) = \frac{1}{2} n(\text{Ag}); n(\text{HCOOH}) = \frac{1}{2} 0,1 \text{ моль} = 0,05 \text{ моль}.$$

Такое количество вещества муравьиной кислоты находилось в каждом образце исходной смеси.

Определяем массу раствора KOH, массу и количество вещества гидроксида калия, затраченного на реакции (б) и (в):

$$m = V\rho; m = 8 \cdot 1,4 \text{ г} = 11,2 \text{ г};$$

$$m(\text{KOH}) = mw(\text{KOH}); m(\text{KOH}) = 11,2 \cdot 0,4 \text{ г} = 4,48 \text{ г};$$

$$n(\text{KOH}) = \frac{m(\text{KOH})}{M(\text{KOH})}; n(\text{KOH}) = \frac{4,48}{56} \text{ моль} = 0,08 \text{ моль}.$$

Находим количество вещества KOH, вступившего в реакцию (б).  
Из уравнения реакции (б) следует:

$$n_6(\text{KOH}) = n(\text{HCOOH}); n_6(\text{KOH}) = 0,05 \text{ моль}.$$

Тогда

$$n_6(\text{KOH}) = n(\text{KOH}) - n_6(\text{KOH}); n_6(\text{KOH}) = (0,08 - 0,05) \text{ моль} = 0,03 \text{ моль}.$$

На основании уравнения (в) записываем:

$$n(\text{CH}_3\text{COOH}) = n_6(\text{KOH}); n(\text{CH}_3\text{COOH}) = 0,03 \text{ моль}.$$

Определяем массы кислот в смеси:

$$m(\text{HCOOH}) = n(\text{HCOOH}) \cdot M(\text{HCOOH}); m(\text{HCOOH}) = 0,05 \cdot 46 \text{ г} = 2,3 \text{ г};$$

$$m(\text{CH}_3\text{COOH}) = n(\text{CH}_3\text{COOH}) \cdot M(\text{CH}_3\text{COOH}); m(\text{CH}_3\text{COOH}) = 0,03 \cdot 60 \text{ г} = 1,8 \text{ г}.$$

Масса смеси составляет:

$$m(\text{смеси}) = m(\text{HCOOH}) + m(\text{CH}_3\text{COOH}); m(\text{смеси}) = (2,3 + 1,8) \text{ г} = 4,1 \text{ г}.$$

Определяем массовые доли кислот в смеси:

$$w(\text{HCOOH}) = \frac{m(\text{HCOOH})}{m(\text{смеси})}; w(\text{HCOOH}) = \frac{2,3}{4,1} = 0,561, \text{ или } 56,1\%;$$

$$w(\text{CH}_3\text{COOH}) = \frac{m(\text{CH}_3\text{COOH})}{m(\text{смеси})}; w(\text{CH}_3\text{COOH}) = \frac{1,8}{4,1} = 0,439, \\ \text{или } 43,9\%.$$

**21.32.** Имеется смесь муравьиной и масляной кислот. При действии избытка аммиачного раствора оксида серебра на образец этой смеси получили металлический осадок массой 4,32 г. Такой же образец смеси прореагировал с избытком карбоната натрия, в результате чего образовался газ объемом 0,336 л (нормальные условия).

Определите массовые доли кислот в исходной смеси. *Ответ:* муравьиная кислота — 51,1%; масляная кислота — 48,9%.

21.33. Уксусная кислота содержит примеси уксусного альдегида и этанола. При обработке образца кислоты массой 8 г избытком аммиачного раствора оксида серебра образовался металлический осадок массой 5,4 г. На нейтрализацию такого же образца кислоты потребовался раствор объемом 10,26 мл с массовой долей гидроксида натрия 30% и плотностью 1,3 г/мл. Определите массовые доли примесей в кислоте.

*Решение.* С аммиачным раствором оксида серебра взаимодействует ацетальдегид, присутствующий в кислоте:



Количество вещества серебра, образовавшегося в результате реакции, равно:

$$n(\text{Ag}) = \frac{m(\text{Ag})}{M(\text{Ag})}; n(\text{Ag}) = \frac{5,4}{108} \text{ моль} = 0,05 \text{ моль.}$$

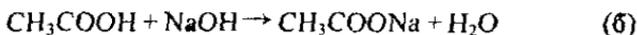
Из уравнения реакции (а) следует:

$$n(\text{CH}_3\text{COH}) = \frac{1}{2} n(\text{Ag}); n(\text{CH}_3\text{COH}) = \frac{1}{2} 0,05 \text{ моль} = 0,025 \text{ моль:}$$

$$m(\text{CH}_3\text{COH}) = n(\text{CH}_3\text{COH}) \cdot M(\text{CH}_3\text{COH}); m(\text{CH}_3\text{COH}) = \\ = 0,025 \cdot 44 \text{ г} = 1,1 \text{ г.}$$

1,1 г — масса ацетальдегида в кислоте массой 8 г.

С гидроксидом натрия взаимодействует уксусная кислота:



Масса раствора NaOH составляет:

$$m = V\rho; m = 10,26 \cdot 1,3 \text{ г} = 13,34 \text{ г.}$$

Определяем массу и количество вещества гидроксида натрия, вступившего в реакцию:

$$m(\text{NaOH}) = mw(\text{NaOH}); m(\text{NaOH}) = 13,34 \cdot 0,3 \text{ г} = 4,0 \text{ г;}$$

$$n(\text{NaOH}) = \frac{m(\text{NaOH})}{M(\text{NaOH})}; n(\text{NaOH}) = \frac{4}{40} \text{ моль} = 0,1 \text{ моль.}$$

Из уравнения реакции (б) следует:

$$\begin{aligned}n(\text{CH}_3\text{COOH}) &= n(\text{NaOH}); n(\text{CH}_3\text{COOH}) = 0,1 \text{ моль}; \\m(\text{CH}_3\text{COOH}) &= n(\text{CH}_3\text{COOH}) \cdot M(\text{CH}_3\text{COOH}); m(\text{CH}_3\text{COOH}) = \\&= 0,1 \cdot 60 \text{ г} = 6 \text{ г};\end{aligned}$$

6 г — масса  $\text{CH}_3\text{COOH}$ , содержащаяся в образце кислоты.

Находим массу спирта в образце кислоты  $m'$ :

$$\begin{aligned}m(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) &= m' - m(\text{CH}_3\text{COH}) - m(\text{CH}_3\text{COOH}); m(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = \\&= (8 - 1,1 - 6) \text{ г} = 0,9 \text{ г}.\end{aligned}$$

Вычисляем массовые доли примесей — спирта и альдегида:

$$w(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = \frac{m(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})}{m'}; w(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = \frac{0,9}{8} = 0,1125,$$

или 11,25%;

$$w(\text{CH}_3\text{COH}) = \frac{m(\text{CH}_3\text{COH})}{m'}; w(\text{CH}_3\text{COH}) = \frac{1,1}{8} = 0,1375,$$

или 13,75%.

**21.34.** Пропионовая кислота загрязнена муравьиной кислотой и пропиловым спиртом. К образцу кислоты массой 150 г прибавили избыток гидрокарбоната калия, получив газ объемом 44,8 л (нормальные условия). К такому же образцу кислоты добавили избыток аммиачного раствора оксида серебра, в результате чего образовался осадок массой 2,16 г. Определите массовые доли примесей в кислоте. *Ответ:* муравьиная кислота — 0,31%; пропиловый спирт — 1,03%.

**21.35.** Окислением пропанола-1 массой 7,2 г получили пропионовую кислоту, на нейтрализацию которой затратили раствор объемом 16,4 мл с массовой долей гидроксида натрия 20% и плотностью 1,22 г/мл. Определите выход кислоты. *Ответ:* 83,3%.

**21.36.** При каталитическом окислении ацетальдегида кислородом получили уксусную кислоту, выход которой составил 75%. Эта кислота прореагировала с избытком карбоната натрия. Выделился газ, образовавший с гидроксидом натрия кислую соль массой 5,04 г. Определите объем кислорода (при нормальных условиях), вступившего в реакцию с альдегидом. *Ответ:* 1,792 л.



$$m = V\rho, m = 3,54 \cdot 1,06 \text{ г} = 3,75 \text{ г};$$

$$m(\text{CH}_3\text{COOH}) = mw(\text{CH}_3\text{COOH}); m(\text{CH}_3\text{COOH}) = 3,75 \cdot 0,96 \text{ г} = 3,6 \text{ г};$$

$$n(\text{CH}_3\text{COOH}) = \frac{m(\text{CH}_3\text{COOH})}{M(\text{CH}_3\text{COOH})}; n(\text{CH}_3\text{COOH}) = \frac{3,6}{60} \text{ моль} = 0,06 \text{ моль}.$$

Следовательно, уксусная кислота взята в избытке.

Из уравнения реакции следует:

$$n(\text{эфира}) = n(\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}); n(\text{эфира}) = 0,05 \text{ моль}.$$

Определяем массу полученного эфира:

$$m(\text{эфира}) = n(\text{эфира}) \cdot M(\text{эфира}); m(\text{эфира}) = 0,05 \cdot 130 \text{ г} = 6,5 \text{ г}.$$

Учитывая выход продукта, находим массу реально полученного эфира:

$$m_p(\text{эфира}) = \frac{m(\text{эфира}) \cdot \eta}{100}; m_p(\text{эфира}) = \frac{6,5 \cdot 80}{100} \text{ г} = 5,2 \text{ г}.$$

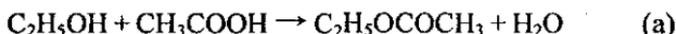
**22.5.** При нагревании метанола массой 2,4 г и уксусной кислоты массой 3,6 г получили метилацетат массой 3,7 г. Определите выход эфира. *Ответ:* 83,3%.

**22.6.** Имеется смесь метилацетата и этилацетата массой 10,3 г. Массовая доля метилацетата в смеси составляет 35,9%, этилацетата — 64,1%. Какой объем раствора с массовой долей гидроксида натрия 40% и плотностью 1,4 г/мл потребуется для полного щелочного гидролиза смеси эфиров? *Ответ:* 8,93 мл.

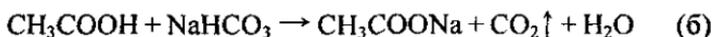
**22.7.** На реакцию щелочного гидролиза метилового эфира неизвестной предельной одноосновной кислоты массой 27,54 г затратили раствор объемом 50 мл с массовой долей гидроксида натрия 18% и плотностью 1,2 г/мл. Какая кислота образует исходный эфир? *Ответ:* масляная кислота.

**22.8.** При нагревании смеси этанола и уксусной кислоты с каталитическим количеством серной кислоты получили этилацетат массой 13,2 г. Выход эфира составил 60%. При действии избытка гидрокарбоната натрия на исходную смесь такой же массы образовался газ объемом 7,84 л (нормальные условия). Определите массовые доли веществ в смеси.

*Решение.* Записываем уравнение реакции этерификации:



С гидрокарбонатом натрия реагирует только уксусная кислота:



Вычисляем количество вещества оксида углерода (IV), полученного в реакции (б):

$$n(\text{CO}_2) = \frac{V(\text{CO}_2)}{V_m}; n(\text{CO}_2) = \frac{7,84}{22,4} \text{ моль} = 0,35 \text{ моль.}$$

Из уравнения реакции (б) следует:

$$n(\text{CH}_3\text{COOH}) = n(\text{CO}_2); n(\text{CH}_3\text{COOH}) = 0,35 \text{ моль};$$

$$m(\text{CH}_3\text{COOH}) = n(\text{CH}_3\text{COOH}) \cdot M(\text{CH}_3\text{COOH}); m(\text{CH}_3\text{COOH}) = \\ = 0,35 \cdot 60 \text{ г} = 21 \text{ г.}$$

21 г — масса уксусной кислоты в смеси.

Определяем массу и количество вещества эфира, который должны получить при количественном выходе:

$$m(\text{эфира}) = \frac{m_p(\text{эфира}) \cdot 100}{\eta}; m(\text{эфира}) = \frac{13,2 \cdot 100}{60} \text{ г} = 22 \text{ г};$$

$$n(\text{эфира}) = \frac{m(\text{эфира})}{M(\text{эфира})}; n(\text{эфира}) = \frac{22}{88} \text{ моль} = 0,25 \text{ моль.}$$

Следовательно, кислота в смеси находится в избытке (из кислоты количеством вещества 0,35 моль при избытке спирта мог бы быть получен эфир количеством вещества 0,35 моль).

На основании уравнения реакции (а) записываем:

$$n(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = n(\text{эфира}); n(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 0,25 \text{ моль.}$$

Определяем массу спирта в образце исходной смеси:

$$m(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = n(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) \cdot M(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}); m(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 0,25 \cdot 46 \text{ г} = \\ = 11,5 \text{ г.}$$

Масса образца исходной смеси составляет:

$$m = m(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) + m(\text{CH}_3\text{COOH}); m = (11,5 + 21) \text{ г} = 32,5 \text{ г.}$$

Определяем массовые доли компонентов смеси:

$$w(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = \frac{m(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})}{m}; \quad w(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = \frac{11,5}{32,5} = 0,354,$$

или 35,4%;

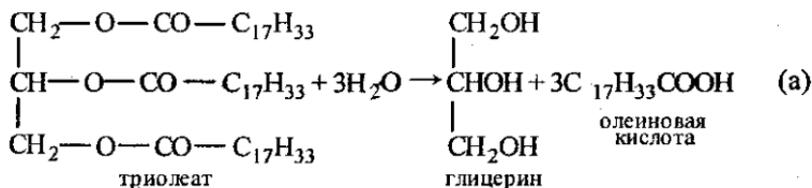
$$w(\text{CH}_3\text{COOH}) = \frac{m(\text{CH}_3\text{COOH})}{m};$$

$$w(\text{CH}_3\text{COOH}) = \frac{21}{32,5} = 0,646, \text{ или } 64,6\%.$$

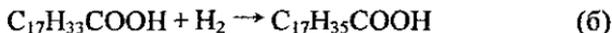
**22.9.** Имеется смесь метанола и пропионовой кислоты. При нагревании образца этой смеси с концентрированной серной кислотой получили эфир массой 13,2 г. На нейтрализацию такого же образца смеси затратили раствор массой 40 г с массовой долей гидроксида натрия 20%. Определите массовые доли компонентов в исходной смеси. *Ответ:* метанол — 24,5%; пропионовая кислота — 75,5%.

**22.10.** Образец жира, представляющий собой триолеат, подвергли гидролизу. Какая масса жира была взята, если на гидрирование полученной кислоты затратили водород объемом 336 л (нормальные условия)?

*Решение.* Записываем уравнение реакции гидролиза триолеата:



Олеиновая кислота является непредельной. Уравнение реакции ее гидрирования:



Находим количество вещества водорода, затраченного на реакцию гидрирования олеиновой кислоты:

$$n(\text{H}_2) = \frac{V(\text{H}_2)}{V_m}; \quad n(\text{H}_2) = \frac{336}{22,4} \text{ моль} = 15 \text{ моль}.$$

Из уравнений реакции (б) следует:

$$n(\text{C}_{17}\text{H}_{33}\text{COOH}) = n(\text{H}_2); n(\text{C}_{17}\text{H}_{33}\text{COOH}) = 15 \text{ моль.}$$

На основании уравнения (а) записываем:

$$n(\text{триолеата}) = \frac{1}{3} n(\text{C}_{17}\text{H}_{33}\text{COOH});$$

$$n(\text{триолеата}) = \frac{1}{3} \cdot 15 \text{ моль} = 5 \text{ моль.}$$

Находим массу жира, взятого для реакции:

$$m(\text{триолеата}) = n(\text{триолеата}) \cdot M(\text{триолеата}); m(\text{триолеата}) = 5 \cdot 884 \text{ г} = 4420 \text{ г.}$$

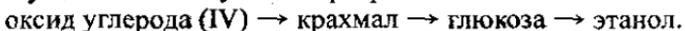
**22.11.** Основным компонентом некоторого жира является тристеарат, массовая доля которого составляет 80%. Какие массы глицерина и стеариновой кислоты могут быть получены при омылении этого жира массой 72,5 кг? *Ответ:* 5,996 кг глицерина; 55,52 кг стеариновой кислоты.

**22.12.** Стеарат калия — важный компонент жидкого мыла. Какая масса гидроксида калия и тристеарата потребуется для получения стеарата калия массой 500 кг, если выход продукта составляет 80% из-за производственных потерь? *Ответ:* 575,8 кг жира и 108,7 кг гидроксида калия.

**22.13.** При гидролизе жира массой 222,5 г получили предельную одноосновную карбоновую кислоту массой 213 г и глицерин. Определите формулу жира и назовите его. *Ответ:* тристеарат.

## 23. УГЛЕВОДЫ

**23.1.** Напишите уравнения реакций, при помощи которых можно осуществить следующие превращения:



Укажите условия протекания реакций.

**23.2.** Какой объем оксида углерода (IV) выделится при спиртовом брожении глюкозы массой 270 кг? Объем рассчитайте при нормальных условиях.

*Решение.* Записываем уравнение реакции спиртового брожения глюкозы:



Определяем количество вещества глюкозы:

$$n(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = \frac{m(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6)}{M(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6)}; n(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = \frac{270}{180} \text{ моль} = 1,5 \text{ моль.}$$

Из уравнения реакции следует:

$$n(\text{CO}_2) = 2n(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6); n(\text{CO}_2) = 2 \cdot 1,5 \text{ моль} = 3 \text{ моль.}$$

Определяем объем выделившегося газа:

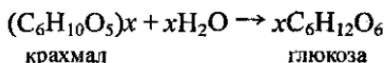
$$V(\text{CO}_2) = n(\text{CO}_2) \cdot V_m; V(\text{CO}_2) = 3 \cdot 22,4 \text{ л} = 67,2 \text{ л.}$$

**23.3.** При брожении глюкозы получили этанол массой 276 г, выход которого составил 80%. Какая масса глюкозы подверглась брожению? *Ответ:* 675 г.

**23.4.** Какой объем воздуха, объемная доля кислорода в котором составляет 21%, потребуется для полного окисления глюкозы массой 45 г? Объем рассчитайте при нормальных условиях. *Ответ:* 160 л.

**23.5.** Массовая доля крахмала в картофеле составляет 20%. Какую массу глюкозы можно получить из картофеля массой 1620 кг, если выход продукта равен 75%?

*Решение.* Записываем уравнение реакции гидролиза крахмала, в результате которой образуется глюкоза:



Находим массу крахмала в картофеле:

$$\begin{aligned} m(\text{крахмала}) &= m(\text{крахмала}) \cdot m(\text{картофеля}); \\ m(\text{крахмала}) &= 1620 \cdot 0,2 \text{ кг} = 324 \text{ кг.} \end{aligned}$$

Определяем количество вещества крахмала:

$$n(\text{крахмала}) = \frac{m(\text{крахмала})}{M(\text{крахмала})}; n(\text{крахмала}) = \frac{324}{162x} \text{ кмоль} = \frac{2}{x} \text{ кмоль.}$$

Из уравнения реакции гидролиза крахмала следует:

$$\frac{n(\text{крахмала})}{n(\text{глюкозы})} = \frac{1}{x}$$

Отсюда получаем:

$$n(\text{глюкозы}) = x n(\text{крахмала}); n(\text{глюкозы}) = x \frac{2}{x} \text{ кмоль} = 2 \text{ кмоль}.$$

Определяем массу глюкозы, которую можно получить при количественном выходе:

$$m(\text{глюкозы}) = n(\text{глюкозы}) \cdot M(\text{глюкозы}); m(\text{глюкозы}) = 2 \cdot 180 \text{ кг} = 360 \text{ кг}.$$

Учитывая выход продукта, находим:

$$m_p(\text{глюкозы}) = \frac{m(\text{глюкозы}) \cdot \eta}{100}; m_p(\text{глюкозы}) = \frac{360 \cdot 75}{100} \text{ кг} = 270 \text{ кг}.$$

**23.6.** Массовая доля целлюлозы в древесине равна 50%. Какая масса спирта может быть получена при брожении глюкозы, которая образуется при гидролизе древесных опилок массой 810 кг? Учтите, что спирт выделяется из реакционной системы в виде раствора с массовой долей воды 8%. Выход этанола из-за производственных потерь составляет 70%. *Ответ:* 175 кг.

**23.7.** Какую массу кукурузных зерен надо взять для получения спирта массой 115 кг, с массовой долей этанола 96%, если выход спирта составляет 80%? Массовая доля крахмала в кукурузных зернах составляет 70%. *Ответ:* 347 кг.

**23.8.** За световой день лист свеклы площадью 1 дм<sup>2</sup> может поглотить оксид углерода (IV) объемом 44,8 мл (нормальные условия). Какая масса глюкозы образуется при этом в результате фотосинтеза? *Ответ:* 0,06 г.

**23.9.** Какую массу целлюлозы и какой объем раствора с массовой долей азотной кислоты 80% и плотностью 1,46 г/мл надо взять для получения тринитроцеллюлозы массой 990 кг? Выход тринитроцеллюлозы составляет 66,7%. *Ответ:* 810 кг целлюлозы; 809 л раствора азотной кислоты.

**23.10.** В результате спиртового брожения глюкозы получили этанол, который окислили до кислоты. При действии избытка гидрокарбоната калия на всю полученную кислоту выделился газ объемом 8,96 л (нормальные условия). Определите массу глюкозы, подвергнутую брожению. *Ответ:* 36 г.

**23.11.** При спиртовом брожении глюкозы получен газ, который прореагировал с раствором гидроксида натрия объемом 60,2 мл и плотностью 1,33 г/мл, образовав среднюю соль. Массовая доля гидроксида натрия в этом растворе равна 30%. Какая масса рас-

твора с массовой долей этанола 60% получена при этом? *Ответ:* 23 г.

**23.12.** Из крахмала массой 8,1 г получили глюкозу, выход которой составил 70%. К глюкозе добавили избыток аммиачного раствора оксида серебра. Какая масса серебра образовалась при этом? *Ответ:* 7,56 г.

**23.13.** Какую массу крахмала надо подвергнуть гидролизу, чтобы из полученной глюкозы при молочнокислом брожении образовалась молочная кислота массой 108 г? Выход продуктов гидролиза крахмала равен 80%, продукта брожения глюкозы — 60%. *Ответ:* 202,5 г.

**23.14.** Какую массу триацетата целлюлозы можно получить из древесных отходов массой 1,62 т, если эфир получается с выходом 75%? Массовая доля целлюлозы в древесине составляет 50%. *Ответ:* 1,08 т.

**23.15.** При гидролизе крахмала массой 324 г с выходом 80% получили глюкозу, которую подвергли спиртовому брожению. Выход продукта брожения составил 75%. В результате осуществления процесса образовался водный раствор спирта массой 600 г. Определите массовую долю этанола в полученном растворе. *Ответ:* 18,4%.

## 24. АЗОТСОДЕРЖАЩИЕ ОРГАНИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ

**24.1.** С помощью каких реакций можно осуществить следующие превращения:

метан  $\rightarrow$  ацетилен  $\rightarrow$  бензол  $\rightarrow$  нитробензол  $\rightarrow$  анилин  $\rightarrow$   
 $\rightarrow$  2,4,6-триброманилин

Напишите уравнения этих реакций и укажите условия их протекания.

**24.2.** Напишите уравнения реакций, которые надо провести для осуществления следующих превращений:

а)  $\text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow \text{X} \rightarrow \text{NH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$ ;

б) нитробензол  $\rightarrow$  Y  $\rightarrow$  хлорид фениламмония.

Назовите вещества X и Y. *Ответ:* X — хлоруксусная кислота; Y — анилин.

**24.3.** При помощи каких химических реакций можно различить бензолные растворы фенола, анилина и уксусной кислоты? Напишите уравнения соответствующих реакций.

24.4. Сколько изомерных аминов могут соответствовать формуле  $C_4H_9N$ ? Напишите структурные формулы всех изомеров.  
*Ответ:* 8 изомерных аминов.

24.5. Определите формулу вторичного амина, массовые доли атомных углерода, водорода и азота в котором соответственно равны 61,0, 15,3 и 23,7%.

*Решение.* Представляем формулу амина в виде  $C_xH_yN_z$ .

Выбираем для расчетов образец амина массой 100 г. Определяем массы и количества веществ атомных углерода, водорода и азота, которые содержатся в этом образце:

$$\begin{aligned}m(C) &= mw(C); m(C) = 100 \cdot 0,610 \text{ г} = 61,0 \text{ г}; \\m(H) &= mw(H); m(H) = 100 \cdot 0,153 \text{ г} = 15,3 \text{ г}; \\m(N) &= mw(N); m(N) = 100 \cdot 0,237 \text{ г} = 23,7 \text{ г};\end{aligned}$$

$$n(C) = \frac{m(C)}{M(C)}; n(C) = \frac{61,0}{12} \text{ моль} = 5,1 \text{ моль};$$

$$n(H) = \frac{m(H)}{M(H)}; n(H) = \frac{15,3}{1} \text{ моль} = 15,3 \text{ моль};$$

$$n(N) = \frac{m(N)}{M(N)}; n(N) = \frac{23,7}{14} \text{ моль} = 1,7 \text{ моль}.$$

Находим отношение количеств веществ углерода, водорода и азота:

$$n(C) : n(H) : n(N) = 5,1 : 15,3 : 1,7.$$

Это отношение можно представить и в таком виде:

$$n(C) : n(H) : n(N) = x : y : z.$$

Получаем:

$$x : y : z = 5,1 : 15,3 : 1,7 = 3 : 9 : 1,$$

т.е. формула амина  $C_3H_9N$ .

Так как известно, что амин — вторичный, его формула может быть представлена в виде  $R_1-NH-R_2$ . Очевидно, один из углеводородных радикалов — метил  $CH_3$ , другой — этил  $C_2H_5$ . Структурная формула амина  $CH_3-NH-C_2H_5$ . Это — метилэтиламин.

24.6. Определите формулу третичного амина, массовые доли атомных углерода, водорода и азота в котором равны соответственно 65,75, 15,07 и 19,18%. Назовите этот амин. *Ответ:* диметилэтиламин.

24.7. Определите формулу сложного эфира аминокусусной кислоты, массовая доля кислорода в котором составляет 36%. *Ответ:*  $\text{NH}_2\text{—CH}_2\text{—CO—O—CH}_3$ .

24.8. Первичный амин образует с бромоводородом соль, массовая доля брома в которой составляет 71,4%. Определите формулу амина и назовите его. *Ответ:* метиламин.

24.9. Какой объем азота образуется при сгорании этиламина массой 5,4 г? Объем рассчитайте при нормальных условиях. *Ответ:* 1,344 л.

24.10. При восстановлении нитробензола массой 73,8 г получили анилин массой 48,0 г. Определите выход продукта. *Ответ:* 86%.

24.11. Какая масса бензола потребуется для получения анилина массой 279 кг, если его выход составляет 75%?

*Решение.* Анилин получают из бензола в две стадии. Сначала бензол подвергают нитрованию:



Затем восстанавливают нитробензол до анилина, например, каталитическим гидрированием:



Определяем, какая масса анилина образовалась бы при количественном выходе, если реально получен продукт массой 279 кг:

$$m(\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2) = \frac{m_p(\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2) \cdot 100}{\eta}; m(\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2) = \frac{29 \cdot 100 \text{ кг}}{75} = 372 \text{ кг.}$$

Находим количество вещества анилина:

$$n(\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2) = \frac{m(\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2)}{M(\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2)}; n(\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2) = \frac{372}{93} \text{ кмоль} = 4 \text{ кмоль.}$$

Из уравнений реакций (а) и (б) следует:

$$n(\text{C}_6\text{H}_6) = n(\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2); n(\text{C}_6\text{H}_6) = 4 \text{ кмоль.}$$

Вычисляем требуемую массу бензола:

$$m(\text{C}_6\text{H}_6) = n(\text{C}_6\text{H}_6) \cdot M(\text{C}_6\text{H}_6); m(\text{C}_6\text{H}_6) = 4 \cdot 78 \text{ кг} = 312 \text{ кг}.$$

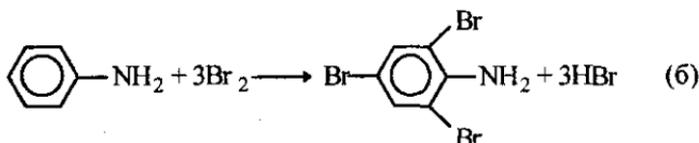
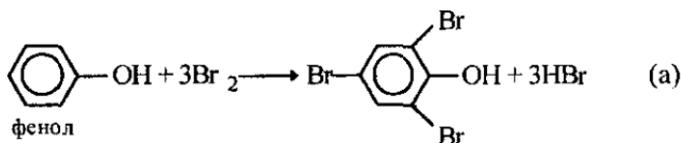
**24.12.** В анилиновое производство поступил бензол объемом  $4,4 \text{ м}^3$  и плотностью  $0,88 \text{ кг/л}$ . Какая масса анилина может быть получена, если его выход из-за производственных потерь составляет  $70\%$ . *Ответ:*  $3,23 \text{ т}$ .

**24.13.** Аминоуксусную кислоту получили из уксусной кислоты массой  $24 \text{ г}$  с выходом  $60\%$ . Какой объем раствора с массовой долей гидроксида натрия  $15\%$  и плотностью  $1,16 \text{ г/мл}$  потребуется для нейтрализации аминоуксусной кислоты? *Ответ:*  $55,2 \text{ мл}$ .

**24.14.** Какая масса  $2,4,6$ -триброманилина может быть получена при взаимодействии анилина массой  $18,6 \text{ г}$  с бромом массой  $104 \text{ г}$ ? *Ответ:*  $66 \text{ г}$ .

**24.15.** Имеется раствор фенола и анилина в бензоле. Массовая доля фенола в растворе составляет  $20\%$ , анилина —  $30\%$ . Какую массу раствора с массовой долей брома  $8\%$  надо взять для бромирования образца исходного раствора массой  $200 \text{ г}$ ? Бром растворен в тетрахлориде углерода.

*Решение.* С бромом в отсутствие катализаторов реагируют фенол и анилин:



Определяем массы и количества веществ фенола и анилина, которые находятся в растворе:

$$m(\text{фенола}) = m_w(\text{фенола}); m(\text{фенола}) = 200 \cdot 0,2 \text{ г} = 40 \text{ г};$$

$$m(\text{анилина}) = m(\text{анилина}); m(\text{анилина}) = 200 \cdot 0,3 \text{ г} = 60 \text{ г};$$

$$n(\text{фенола}) = \frac{m(\text{фенола})}{M(\text{фенола})}; n(\text{фенола}) = \frac{40}{94} \text{ моль} = 0,4255 \text{ моль};$$

$$n(\text{анилина}) = \frac{m(\text{анилина})}{M(\text{анилина})}; n(\text{анилина}) = \frac{60}{93} \text{ моль} = 0,6452 \text{ моль.}$$

Определяем количество вещества молекулярного брома, который необходим для осуществления реакций (а) и (б). Из уравнения реакции (а) следует:

$$n_a(\text{Br}_2) = 3n(\text{фенола}); n_a(\text{Br}_2) = 3 \cdot 0,4255 \text{ моль} = 1,277 \text{ моль.}$$

На основании уравнения (б) записываем:

$$n_b(\text{Br}_2) = 3n(\text{анилина}); n_b(\text{Br}_2) = 3 \cdot 0,6452 \text{ моль} = 1,936 \text{ моль.}$$

Вычисляем общее количество вещества молекулярного брома, который необходим для реакций (а) и (б):

$$n(\text{Br}_2) = n_a(\text{Br}_2) + n_b(\text{Br}_2); n(\text{Br}_2) = (1,277 + 1,936) \text{ моль} = 3,213 \text{ моль.}$$

Находим массу требуемого брома:

$$m(\text{Br}_2) = n(\text{Br}_2) \cdot M(\text{Br}_2); m(\text{Br}_2) = 3,213 \cdot 160 \text{ г} = 514 \text{ г.}$$

Определяем массу раствора брома в тетрахлориде углерода, который необходим для реакции:

$$m(\text{раствора}) = \frac{m(\text{Br}_2)}{w(\text{Br}_2)}; m(\text{раствора}) = \frac{514}{0,08} \text{ г} = 6425 \text{ г} = 6,425 \text{ кг.}$$

**24.16.** Какой минимальный объем аммиака надо пропустить через раствор массой 300 г с массовой долей хлоруксусной кислоты 20% для полного превращения ее в аминоксусную кислоту? Объем рассчитайте при нормальных условиях. *Ответ:* 14,2 л.

**24.17.** При действии избытка раствора гидроксида натрия на раствор хлорида фениламмония массой 250 г получили анилин, на бромирование которого затратили бром массой 72 г. Массовая доля хлорида фениламмония в растворе составляет 10%. Определите выход анилина. *Ответ:* 77,7%.

**24.18.** Имеется раствор анилина в органическом растворителе массой 10 г. К раствору добавили избыток брома, при этом выпал осадок массой 6,6 г. Определите массовую долю анилина в исходном растворе. *Ответ:* 18,6%.

**24.19.** Первичный амин массой 12,4 г сожгли, а продукты горения пропустили через избыток раствора щелочи. Газ, не проре-

агировавший со щелочью, имеет при нормальных условиях объем 4,48 л. Определите формулу амина. *Ответ:*  $\text{CH}_3\text{NH}_2$ .

**24.20.** При нитровании бензола массой 19,5 г образовался нитробензол, выход которого составил 80%. Какая масса анилина получится при восстановлении нитробензола, если выход анилина составляет 85%? *Ответ:* 15,81 г.

**24.21.** Из уксусной кислоты массой 27 г получили хлоруксусную кислоту, выход которой составил 60%. Через раствор хлоруксусной кислоты пропустили аммиак объемом 6,72 л (нормальные условия). Какое количество вещества аминоуксусной кислоты получили при этом? *Ответ:* 0,27 моль.

## Часть IV. ЗАДАЧИ ПОВЫШЕННОЙ ТРУДНОСТИ

1. Некоторые элементы X и Y образуют соединения  $X_2Y_2O_3$  (массовая доля кислорода равна 25,26%) и  $X_2YO_4$  (массовая доля кислорода равна 36,78%). Определите элементы X и Y.

*Решение.* Выбираем для расчетов образец вещества  $X_2Y_2O_3$  массой 100 г. Тогда масса и количество вещества атомного кислорода составят:

$$m(O) = m(X_2Y_2O_3) \cdot w(O); m(O) = 100 \cdot 0,2526 \text{ г} = 25,26 \text{ г};$$

$$n(O) = \frac{m(O)}{M(O)}; n(O) = \frac{25,26}{16} \text{ моль} = 1,579 \text{ моль}.$$

Из формулы вещества  $X_2Y_2O_3$  следует:

$$n(X_2Y_2O_3) = \frac{n(O)}{3};$$

$$n(X_2Y_2O_3) = \frac{1,579}{3} \text{ моль} = 0,526 \text{ моль}.$$

Молярная масса  $X_2Y_2O_3$  составляет:

$$M(X_2Y_2O_3) = \frac{m(X_2Y_2O_3)}{n(X_2Y_2O_3)};$$

$$M(X_2Y_2O_3) = \frac{100}{0,526} \text{ г/моль} = 190 \text{ г/моль}.$$

Используя формулу соединения  $X_2Y_2O_3$ , записываем:

$$M(X_2Y_2O_3) = 2M(X) + 2M(Y) + 3M(O).$$

Получаем:

$$2M(X) + 2M(Y) + 3 \cdot 16 = 190$$

или

$$2M(X) + 2M(Y) = 142. \quad (a)$$

Аналогично определяем молярную массу вещества  $X_2YO_4$ , также выбрав для расчетов образец этого вещества массой 100 г:

$$m'(O) = m(X_2YO_4) \cdot w'(O); m'(O) = 100 \cdot 0,3678 \text{ г} = 36,78 \text{ г};$$

$$n'(O) = \frac{m'(O)}{M(O)}; n'(O) = \frac{36,78}{16} \text{ моль} = 2,30 \text{ моль};$$

$$n(X_2YO_4) = \frac{n'(O)}{4}; n(X_2YO_4) = \frac{2,30}{4} \text{ моль} = 0,575 \text{ моль};$$

$$M(X_2YO_4) = \frac{m(X_2YO_4)}{n(X_2YO_4)}; M(X_2YO_4) = \frac{100}{0,575} \text{ г/моль} = \\ = 174 \text{ г/моль}.$$

Из формулы соединения  $X_2YO_4$  следует:

$$M(X_2YO_4) = 2M(X) + M(Y) + 4M(O); \\ 2M(X) + M(Y) + 4 \cdot 16 = 174$$

или

$$2M(X) + M(Y) = 110. \quad (6)$$

Решая систему уравнений (а) и (б), получаем:

$$M(X) = 39 \text{ г/моль}, M(Y) = 32 \text{ г/моль}.$$

Таким образом, X — это калий, Y — сера.

2. Натрий образует с элементами X и Y соединения  $NaXY_2$  и  $Na_2X_4Y_7$ . Массовая доля натрия в  $NaXY_2$  равна 34,8%, в  $Na_2X_4Y_7$  — 22,8%. Определите, какие элементы X и Y входят в состав соединений с натрием. *Ответ:* X — бор; Y — кислород.

3. Оксид железа (II) относится к соединениям переменного состава. Его состав может быть выражен формулой  $Fe_{1-x}O$ . Определите простейшую формулу оксида, если известно, что его образец массой 16,6 г содержит железо массой 12,6 г.

*Решение.* Определяем массу кислорода в образце оксида:

$$m(O) = m(Fe_{1-x}O) - m(Fe); m(O) = (16,6 - 12,6) \text{ г} = 4,0 \text{ г}.$$

Находим количество вещества кислорода:

$$n(O) = \frac{m(O)}{M(O)}; n(O) = \frac{4,0}{16} \text{ моль} = 0,25 \text{ моль}.$$

Количество вещества железа составляет:

$$n(\text{Fe}) = \frac{m(\text{Fe})}{M(\text{Fe})}; n(\text{Fe}) = \frac{12,6}{56} \text{ моль} = 0,225 \text{ моль.}$$

Из формулы оксида следует:

$$\frac{n(\text{Fe})}{n(\text{O})} = \frac{1-x}{1}, \text{ или } \frac{0,225}{0,25} = 1-x.$$

Решая полученное уравнение, находим:  $x = 0,1$ , а  $(1-x) = 0,9$ , т. е. формула оксида —  $\text{Fe}_{0,9}\text{O}$ .

4. При анализе оксида марганца, относящегося к бертоллидам (нестехиометрическим соединениям), установлено, что массовая доля марганца составляет 68,2%. Определите формулу этого оксида. *Ответ:*  $\text{MnO}_{1,6}$ .

5. Химическое соединение — газ, содержащий углерод (массовая доля 85,7%) и водород (14,3%). Образец этого соединения массой 5,25 г занимает при нормальных условиях объем 2,8 л. Определите структурную формулу этого соединения, если известно, что оно обесцвечивает бромную воду.

*Решение.* Выбираем для расчетов массу вещества, равную 100 г, т. е.  $m = 100$  г. Определяем массы и количества веществ атомных углерода и водорода:

$$m(\text{C}) = mw(\text{C}); m(\text{C}) = 100 \cdot 0,857 \text{ г} = 85,7 \text{ г};$$

$$n(\text{C}) = \frac{m(\text{C})}{M(\text{C})}; n(\text{C}) = \frac{85,7}{12} \text{ моль} = 7,14 \text{ моль};$$

$$m(\text{H}) = m - m(\text{C}); m(\text{H}) = (100 - 85,7) \text{ г} = 14,3 \text{ г};$$

$$n(\text{H}) = \frac{m(\text{H})}{M(\text{H})}; n(\text{H}) = \frac{14,3}{1} \text{ моль} = 14,3 \text{ моль.}$$

Представляем формулу соединения в виде  $\text{C}_x\text{H}_y$ . Тогда

$$\frac{n(\text{C})}{n(\text{H})} = \frac{x}{y}.$$

Как следует из полученных выше значений  $n(\text{C})$  и  $n(\text{H})$ ,

$$\frac{n(\text{C})}{n(\text{H})} = \frac{7,14}{14,3} = 0,5,$$

или

$$\frac{x}{y} = 0,5. \quad (a)$$

Определяем молярную массу соединения. Количество вещества  $C_xH_y$  в его образце объемом 2,8 л составляет:

$$n(C_xH_y) = \frac{V(C_xH_y)}{V_m}; n(C_xH_y) = \frac{2,8}{22,4} \text{ моль} = 0,125 \text{ моль}.$$

Находим молярную массу вещества:

$$M(C_xH_y) = \frac{m(C_xH_y)}{n(C_xH_y)}; M(C_xH_y) = \frac{5,25}{0,125} \text{ г/моль} = 42 \text{ г/моль}.$$

Молярная масса также равна:

$$M(C_xH_y) = x \cdot 12 + y \cdot 1.$$

Получаем:

$$12x + y = 42. \quad (б)$$

Решая систему уравнений (а) и (б), находим:  $x = 3$ ,  $y = 6$ .

Таким образом, формула соединения —  $C_3H_6$ . Такую формулу могут иметь и циклоалкан и алкен. Однако циклоалканы не взаимодействуют с бромной водой. Следовательно, вещество  $C_3H_6$  относится к алкенам. Это — пропилен  $CH_2=CH-CH_3$ .

6. Определите структурную формулу углеводорода, массовая доля углерода в котором составляет 88,9%. Известно, что углеводород взаимодействует с аммиачным раствором оксида серебра. Плотность паров углеводорода по воздуху составляет 1,862. Ответ:  $CH \equiv C-CH_2-CH_3$ .

7. При сгорании вещества массой 4,25 г образовались оксид углерода (IV) массой 13,2 г и вода массой 5,85 г. Плотность паров вещества по воздуху равна 5,862. Определите формулу вещества.

Решение. Так как в результате горения вещества образуются  $CO_2$  и  $H_2O$ , то в состав соединения входят углерод, водород и, возможно, кислород.

Определяем количества веществ оксида углерода (IV) и воды, образовавшихся в результате горения:

$$n(\text{CO}_2) = \frac{m(\text{CO}_2)}{M(\text{CO}_2)}; n(\text{CO}_2) = \frac{13,2}{44} \text{ моль} = 0,3 \text{ моль};$$

$$n(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{M(\text{H}_2\text{O})}; n(\text{H}_2\text{O}) = \frac{5,85}{18} \text{ моль} = 0,325 \text{ моль}.$$

Теперь можно определить количества веществ атомных углерода и водорода, которые содержались в исходном соединении.

Из формулы оксида углерода (IV) следует:

$$n(\text{C}) = n(\text{CO}_2); n(\text{C}) = 0,3 \text{ моль}.$$

На основании формулы воды записываем:

$$n(\text{H}) = 2n(\text{H}_2\text{O}); n(\text{H}) = 2 \cdot 0,325 \text{ моль} = 0,65 \text{ моль}.$$

Определяем массы углерода и водорода:

$$m(\text{C}) = n(\text{C}) \cdot M(\text{C}); m(\text{C}) = 0,3 \cdot 12 \text{ г} = 3,6 \text{ г};$$

$$m(\text{H}) = n(\text{H}) \cdot M(\text{H}); m(\text{H}) = 0,65 \cdot 1 \text{ г} = 0,65 \text{ г}.$$

Суммарная масса углерода и водорода

$$m(\text{C}) + m(\text{H}) = (3,6 + 0,65) \text{ г} = 4,25 \text{ г},$$

т. е. равна массе исходного вещества; следовательно, оно не содержит кислород (является углеводородом).

Представляем формулу углеводорода в виде  $\text{C}_x\text{H}_y$ , тогда

$$\frac{x}{y} = \frac{n(\text{C})}{n(\text{H})}.$$

Вычисляем отношение  $n(\text{C})$  и  $n(\text{H})$ :

$$\frac{n(\text{C})}{n(\text{H})} = \frac{0,3}{0,325}.$$

Получаем:

$$\frac{x}{y} = \frac{0,3}{0,325}. \quad (\text{a})$$

Молярная масса вещества равна:

$$M(\text{C}_x\text{H}_y) = 29D_B; M(\text{C}_x\text{H}_y) = 29 \cdot 5,862 \text{ г/моль} = 170 \text{ г/моль}.$$

Молярную массу углеводорода можно представить и в следующем виде:

$$M(C_xH_y) = (12x + y) \text{ г/моль},$$

следовательно,

$$12x + y = 170. \quad (б)$$

Решая систему уравнений (а) и (б), находим, что  $x = 12$ ,  $y = 26$ , т. е. формула углеводорода —  $C_{12}H_{26}$ .

8. Образец органического вещества массой 4,3 г сожгли в кислороде. Продуктами реакции являются оксид углерода (IV) объемом 6,72 л (нормальные условия) и вода массой 6,3 г. Плотность паров исходного вещества по водороду равна 43. Определите формулу вещества. *Ответ:*  $C_6H_{14}$ .

9. Имеется смесь хлороводорода и хлорида дейтерия. Массовая доля хлора в смеси составляет 96,73. Определите массовую долю хлорида дейтерия в смеси.

*Решение.* Выбираем для расчетов образец смеси массой 100 г. Масса атомного хлора в смеси составляет:

$$m(Cl) = mw(Cl); m(Cl) = 100 \cdot 0,9673 \text{ г} = 96,73 \text{ г}.$$

Вычисляем массу атомных водорода и дейтерия в смеси:

$$m(H) + m(D) = m - m(Cl); m(H) + m(D) = (100 - 96,73) \text{ г} = 3,27 \text{ г},$$

или

$$m(H) + m(D) = 3,27 \text{ г}. \quad (а)$$

Масса атомного хлора суммируется из массы хлора, содержащегося в хлороводороде  $m_1(Cl)$ , и массы хлора  $m_2(Cl)$ , содержащегося в хлориде дейтерия  $DCl$ , т. е.

$$m(Cl) = m_1(Cl) + m_2(Cl). \quad (б)$$

Находим массу  $m_1(Cl)$ :

$$\begin{aligned} m_1(Cl) &= n_1(Cl) \cdot M(Cl); \\ m_1(Cl) &= n_1(Cl) \cdot 35,5, \end{aligned} \quad (в)$$

где  $n_1(Cl)$  — количество вещества атомного хлора в  $HCl$ .

Определяем массу атомного водорода в  $HCl$ :

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

$$m(\text{H}) = n(\text{H}) \cdot 1, \quad (\text{г})$$

где  $n(\text{H})$  — количество вещества атомного водорода в  $\text{HCl}$ .

Из формулы хлороводорода  $\text{HCl}$  следует, что  $n_1(\text{Cl}) = n(\text{H})$ , следовательно, из уравнений (в) и (г) получаем:

$$\frac{m_1(\text{Cl})}{m(\text{H})} = 35,5. \quad (\text{д})$$

Аналогично, используя формулу хлорида дейтерия  $\text{DCl}$ , находим:

$$\frac{m_2(\text{Cl})}{m(\text{D})} = \frac{35,5}{2}. \quad (\text{е})$$

Выразив из формул (д) и (е)  $m_1(\text{Cl})$  и  $m_2(\text{Cl})$ , подставляем эти величины в уравнение (б):

$$m(\text{Cl}) = 35,5m(\text{H}) = \frac{35,5}{2} m(\text{D}),$$

или

$$35,5m(\text{H}) + 17,75m(\text{D}) = 96,73 \text{ г}. \quad (\text{ж})$$

Получаем систему уравнений (а) и (ж) с двумя неизвестными. Решая ее, находим, что  $m(\text{D}) = 1,09 \text{ г}$ .

Используя формулу (е), вычисляем массу хлора в хлориде дейтерия:

$$m_2(\text{Cl}) = \frac{35,5m(\text{D})}{2}; m_2(\text{Cl}) = \frac{35,5 \cdot 1,09}{2} \text{ г} = 19,35 \text{ г}.$$

Определяем массу хлорида дейтерия:

$$m(\text{DCl}) = m(\text{D}) + m_2(\text{Cl}); m(\text{DCl}) = (1,09 + 19,35) \text{ г} = 20,44 \text{ г}.$$

Массовая доля  $\text{DCl}$  в смеси составляет:

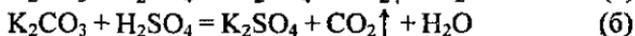
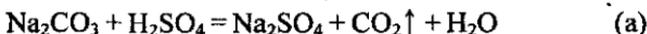
$$w(\text{DCl}) = \frac{m(\text{DCl})}{m}; w(\text{DCl}) = \frac{20,44}{100} = 0,2044, \text{ или } 20,44\%.$$

**10.** Имеется смесь обычной воды и тяжелой. Определите массовую долю тяжелой воды в смеси, если массовая доля кислорода в смеси равна 86%. *Ответ:* 32,5%.

**11.** Смесь карбонатов калия и натрия массой 7 г обработали серной кислотой, взятой в избытке. При этом выделился газ объе-

мом 1,344 л (нормальные условия). Определите массовые доли карбонатов в исходной смеси.

*Решение.* Записываем уравнения реакции:



Пусть  $m$  ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) — масса карбоната натрия в исходной смеси. Тогда

$$m(\text{K}_2\text{CO}_3) = m(\text{смеси}) - m(\text{Na}_2\text{CO}_3); m(\text{K}_2\text{CO}_3) = [7 - m(\text{Na}_2\text{CO}_3)] \text{ г.}$$

Обозначаем символом  $V_a(\text{CO}_2)$  объем оксида углерода (IV), образовавшийся в реакции (а). Тогда в результате реакции (б) выделится

$$V_6(\text{CO}_2) = V(\text{CO}_2) - V_a(\text{CO}_2); V_6(\text{CO}_2) = [1,344 - V_a(\text{CO}_2)] \text{ л.}$$

Определяем количества веществ  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{K}_2\text{CO}_3$  и  $\text{CO}_2$ , полученных в реакциях (а) и (б):

$$n(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{m(\text{Na}_2\text{CO}_3)}{M(\text{Na}_2\text{CO}_3)}; n(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{m(\text{Na}_2\text{CO}_3)}{106} \text{ моль;}$$

$$n_a(\text{CO}_2) = \frac{V_a(\text{CO}_2)}{V_m}; n_a(\text{CO}_2) = \frac{V_a(\text{CO}_2)}{22,4} \text{ моль;}$$

$$n(\text{K}_2\text{CO}_3) = \frac{m(\text{K}_2\text{CO}_3)}{M(\text{K}_2\text{CO}_3)}; n(\text{K}_2\text{CO}_3) = \frac{7 - m(\text{Na}_2\text{CO}_3)}{138} \text{ моль;}$$

$$n_6(\text{CO}_2) = \frac{V_6(\text{CO}_2)}{V_m}; n_6(\text{CO}_2) = \frac{1,344 - V_a(\text{CO}_2)}{22,4} \text{ моль.}$$

Из уравнения (а) следует:

$$n(\text{Na}_2\text{CO}_3) = n_a(\text{CO}_2)$$

или

$$\frac{m(\text{Na}_2\text{CO}_3)}{106} = \frac{V_a(\text{CO}_2)}{22,4}. \quad (\text{в})$$

Из уравнения (б) следует:

$$n(\text{K}_2\text{CO}_3) = n_6(\text{CO}_2),$$

или

$$\frac{7 - m(\text{Na}_2\text{CO}_3)}{138} = \frac{1,344 - V_a(\text{CO}_2)}{22,4} \quad (\text{г})$$

Решая систему уравнений (в) и (г), находим  $m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 4,24$  г. Тогда

$$m(\text{K}_2\text{CO}_3) = m - m(\text{Na}_2\text{CO}_3); m(\text{K}_2\text{CO}_3) = (7 - 4,24) \text{ г} = 2,76 \text{ г.}$$

Определяем массовые доли карбонатов натрия и калия:

$$w(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{m(\text{Na}_2\text{CO}_3)}{m}; w(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{4,24}{7} = 0,606, \\ \text{или } 60,6\%;$$

$$w(\text{K}_2\text{CO}_3) = \frac{m(\text{K}_2\text{CO}_3)}{m}; w(\text{K}_2\text{CO}_3) = \frac{2,76}{7} = 0,394, \text{ или } 39,4\%.$$

12. Смесь хлороводорода и бромоводорода массой 5,51 г растворили в воде. На нейтрализацию полученного раствора затратили гидроксид калия массой 5,04 г. Определите массовые доли галогеноводородов в исходной смеси. *Ответ:* 26,5% HCl и 73,5% HBr.

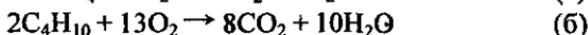
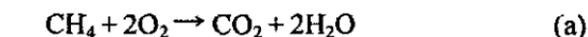
13. Смесь сероводорода и иодоводорода объемом 1,792 л (нормальные условия) пропустили через избыток раствора нитрата серебра. При этом образовался осадок массой 19,19 г. Определите массовые и объемные доли газов в исходной смеси. *Ответ:* объемные доли — 62,5% HI и 37,5% H<sub>2</sub>S; массовые доли — 86,3% HI и 13,7% H<sub>2</sub>S.

14. При растворении в соляной кислоте сплава магния с алюминием массой 50 г выделился водород объемом 48,25 л (нормальные условия). Определите массовые доли металлов в сплаве. *Ответ:* 10,2% Al и 89,8% Mg.

15. Имеется смесь бромидов и иодидов калия. Образец этой смеси массой 2,85 г растворили в воде. Через раствор пропустили избыток хлора. Раствор упарили досуха и прокалили. В остатке получили соль, при взаимодействии которой с раствором нитрата серебра образовался осадок массой 2,87 г. Определите массовую долю бромидов калия в исходной смеси. *Ответ:* 41,75%.

16. При сгорании смеси метана и бутана массой 6,1 г образовался оксид углерода (IV) массой 17,6 г. Определите массовые доли веществ в газовой смеси.

**Решение.** Составляем уравнения реакций горения метана и бутана:



Обозначаем буквой  $x$  массу метана в смеси, т. е.  $m(\text{CH}_4) = x$  г. Тогда

$$m(\text{C}_4\text{H}_{10}) = m(\text{смеси}) - m(\text{CH}_4); m(\text{C}_4\text{H}_{10}) = (6,1 - x) \text{ г.}$$

Буквой  $y$  обозначаем массу оксида углерода (IV), полученного по реакции (а), т. е.  $m_{\text{а}}(\text{CO}_2) = y$  г. Тогда по реакции (б) образовался  $\text{CO}_2$  следующей массы:

$$m_{\text{б}}(\text{CO}_2) = m(\text{CO}_2) - m_{\text{а}}(\text{CO}_2); m_{\text{б}}(\text{CO}_2) = (17,6 - y) \text{ г.}$$

Вычисляем количества веществ:

$$n(\text{CH}_4) = \frac{m(\text{CH}_4)}{M(\text{CH}_4)}; n(\text{CH}_4) = \frac{x}{16} \text{ моль};$$

$$n(\text{C}_4\text{H}_{10}) = \frac{m(\text{C}_4\text{H}_{10})}{M(\text{C}_4\text{H}_{10})}; n(\text{C}_4\text{H}_{10}) = \frac{6,1 - x}{58} \text{ моль};$$

$$n_{\text{а}}(\text{CO}_2) = \frac{m_{\text{а}}(\text{CO}_2)}{M(\text{CO}_2)}; n_{\text{а}}(\text{CO}_2) = \frac{y}{44} \text{ моль};$$

$$n_{\text{б}}(\text{CO}_2) = \frac{m_{\text{б}}(\text{CO}_2)}{M(\text{CO}_2)}; n_{\text{б}}(\text{CO}_2) = \frac{17,6 - y}{44} \text{ моль.}$$

Из уравнения реакции (а) следует:

$$n(\text{CH}_4) = n_{\text{а}}(\text{CO}_2),$$

или

$$\frac{x}{16} = \frac{y}{44}. \quad (\text{в})$$

На основании уравнения (б) записываем:

$$\frac{n(\text{C}_4\text{H}_{10})}{n_{\text{б}}(\text{CO}_2)} = \frac{2}{8} = \frac{1}{4}; n(\text{C}_4\text{H}_{10}) = \frac{1}{4} n_{\text{б}}(\text{CO}_2),$$

откуда следует:

$$\frac{6,1-x}{58} = \frac{1}{4} \frac{17,6-y}{44} \quad (\Gamma)$$

Решая систему уравнений (в) и (г) с двумя неизвестными, находим:  $x = 3,2$ , т. е.  $m(\text{CH}_4) = 3,2$  г.

Определяем массу бутана в газовой смеси:

$$m(\text{C}_4\text{H}_{10}) = m(\text{смеси}) - m(\text{CH}_4); m(\text{C}_4\text{H}_{10}) = (6,1 - 3,2) \text{ г} = 2,9 \text{ г.}$$

Находим массовые доли веществ в смеси:

$$w(\text{CH}_4) = \frac{m(\text{CH}_4)}{m(\text{смеси})}; w(\text{CH}_4) = \frac{3,2}{6,1} = 0,525, \text{ или } 52,5\%;$$

$$w(\text{C}_4\text{H}_{10}) = \frac{m(\text{C}_4\text{H}_{10})}{m(\text{смеси})}; w(\text{C}_4\text{H}_{10}) = \frac{2,9}{6,1} = 0,475, \text{ или } 47,5\%.$$

17. При сгорании смеси этана и циклопропана массой 8,8 г образовался оксид углерода (IV) объемом 13,44 л (нормальные условия). Определите массовые доли углеводородов в смеси. *Ответ:* 68,2%  $\text{C}_2\text{H}_6$ ; 31,8%  $\text{C}_3\text{H}_6$ .

18. Метан объемом 8,96 л (нормальные условия) подвергли хлорированию. В результате получили смесь хлороформа и тетрахлорида углерода массой 54,7 г. Вычислите массовую долю хлороформа в продукте хлорирования. *Ответ:* 43,7%.

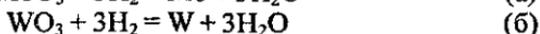
19. При сгорании в кислороде натрия образовался пероксид натрия  $\text{Na}_2\text{O}_2$ , калия — надпероксид калия  $\text{KO}_2$ . Образец сплава натрия с калием массой 24,6 г сожгли в кислороде, получив смесь продуктов горения массой 42,2 г. Определите массовые доли металлов в сплаве. *Ответ:* натрия — 81,4%; калия — 15,9%.

20. При гидрировании сплава натрия с калием массой 0,85 г получили смесь гидридов металлов массой 0,88 г. Какой объем водорода, измеренный при нормальных условиях, вступил в реакцию? *Ответ:* 336 мл.

21. Молибден и вольфрам получают восстановлением оксидов этих металлов водородом при высоких температурах. При восстановлении образца концентрата массой 155,6 г, который содержит оксид молибдена (VI) и в качестве примеси — оксид вольфрама (VI), получили смесь металлов массой 105,2 г. Рас-

считайте объем водорода, измеренный при нормальных условиях, который затрачен на восстановление, и массы полученных металлов.

*Решение.* Записываем уравнения реакций восстановления оксидов водородом:



Обозначаем массу вольфрама в полученной смеси металлов буквой  $x$ :  $m(\text{W}) = x$  г, а массу оксида вольфрама (VI) — буквой  $y$ :  $m(\text{WO}_3) = y$  г. Тогда:

$$m(\text{MoO}_3) = m(\text{оксидов}) - m(\text{WO}_3); m(\text{MoO}_3) = (155,6 - y) \text{ г};$$

$$m(\text{Mo}) = m(\text{металлов}) - m(\text{W}); m(\text{Mo}) = (105,2 - x) \text{ г}.$$

Находим количества веществ:

$$n(\text{MoO}_3) = \frac{m(\text{MoO}_3)}{M(\text{MoO}_3)}; n(\text{MoO}_3) = \frac{155,6 - y}{144} \text{ моль}.$$

$$n(\text{Mo}) = \frac{m(\text{Mo})}{M(\text{Mo})}; n(\text{Mo}) = \frac{105,2 - x}{144} \text{ моль}.$$

$$n(\text{WO}_3) = \frac{m(\text{WO}_3)}{M(\text{WO}_3)}; n(\text{WO}_3) = \frac{y}{232} \text{ моль};$$

$$n(\text{W}) = \frac{m(\text{W})}{M(\text{W})}; n(\text{W}) = \frac{x}{184} \text{ моль}.$$

Из уравнений реакций (а) и (б) следует, что  $n(\text{MoO}_3) = n(\text{Mo})$ , а  $n(\text{WO}_3) = n(\text{W})$ , следовательно,

$$\frac{155,6 - y}{144} = \frac{105,2 - x}{96}; \quad (\text{в})$$

$$\frac{y}{232} = \frac{x}{184}. \quad (\text{г})$$

Решая систему уравнений (в) и (г), находим:  $x = 9,2$ , т.е.  $m(\text{W}) = 9,2$  г. Определяем массу молибдена:  $m(\text{Mo}) = m(\text{металлов}) - m(\text{W}); m(\text{Mo}) = (105,2 - 9,2) \text{ г} = 96 \text{ г}$ .

Вычисляем количества веществ металлов:

$$n(\text{Mo}) = \frac{m(\text{Mo})}{M(\text{Mo})}; n(\text{Mo}) = \frac{96}{96} \text{ моль} = 1 \text{ моль};$$

$$n(\text{W}) = \frac{m(\text{W})}{M(\text{W})}; n(\text{W}) = \frac{9,2}{184} \text{ моль} = 0,05 \text{ моль}.$$

Как следует из уравнения (а),

$$n_a(\text{H}_2) = 3n(\text{Mo}); n_a(\text{H}_2) = 3 \cdot 1 \text{ моль} = 3 \text{ моль}.$$

На основании уравнения реакции (б) записываем:

$$n_b(\text{H}_2) = 3n(\text{W}); n_b(\text{H}_2) = 3 \cdot 0,05 \text{ моль} = 0,15 \text{ моль}.$$

Общее количество вещества водорода, вступившего в реакции (а) и (б), составляет:

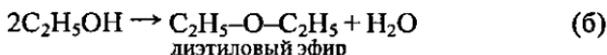
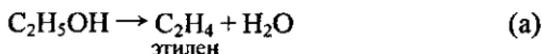
$$n(\text{H}_2) = n_a(\text{H}_2) + n_b(\text{H}_2); n(\text{H}_2) = (3 + 0,15) \text{ моль} = 3,15 \text{ моль}.$$

Определяем объем водорода при нормальных условиях:

$$V(\text{H}_2) = V_m \cdot n(\text{H}_2); V(\text{H}_2) = 22,4 \cdot 3,15 \text{ л} = 70,56 \text{ л}.$$

22. Этанол массой 23 г нагрели, получив смесь двух органических веществ массой 17,6 г. Назовите полученные вещества и рассчитайте их массовые доли в полученной смеси.

*Решение.* При нагревании этанола (необходимо добавить каталитическое количество серной кислоты) возможны реакции:



Таким образом, смесь двух веществ — это раствор этилена в диэтиловом эфире.

Вводим обозначения:  $x$  — масса этанола, вступившего в реакцию (а),  $m_a(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = x$  г. Тогда:

$$m_b(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = m(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) - m_a(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}); m_b(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = (23 - x) \text{ г}.$$

Буквой  $y$  обозначаем массу полученного этилена:  $m(\text{C}_2\text{H}_4) = y$  г. Тогда масса эфира составит:

$$m(\text{эфира}) = m(\text{смеси}) - m(\text{C}_2\text{H}_4); m(\text{эфира}) = (17,6 - y) \text{ г.}$$

Определяем количества веществ этанола, участвующего в реакциях (а) и (б), а также этилена и диэтилового эфира:

$$n_a(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = \frac{m_a(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})}{M(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})}; n_a(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = \frac{x}{46} \text{ моль};$$

$$n_b(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = \frac{m_b(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})}{M(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})}; n_b(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = \frac{23 - x}{46} \text{ моль};$$

$$n(\text{C}_2\text{H}_4) = \frac{m(\text{C}_2\text{H}_4)}{M(\text{C}_2\text{H}_4)}; n(\text{C}_2\text{H}_4) = \frac{y}{28} \text{ моль};$$

$$n(\text{эфира}) = \frac{m(\text{эфира})}{M(\text{эфира})}; n(\text{эфира}) = \frac{17,6 - y}{74} \text{ моль.}$$

На основании уравнения реакции (а) можно записать:

$$n_a(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = n(\text{C}_2\text{H}_4),$$

или

$$\frac{x}{46} = \frac{y}{28}. \quad (\text{в})$$

Из уравнения реакции (б) следует:

$$n_b(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 2n(\text{эфира})$$

или

$$\frac{23 - x}{46} = 2 \frac{17,6 - y}{74}. \quad (\text{г})$$

Решая систему уравнений (в) и (г), находим:  $y = 2,8$ , т. е.  $m(\text{C}_2\text{H}_4) = 2,8$  г.

Массовая доля этилена в смеси составляет:

$$w(\text{C}_2\text{H}_4) = \frac{m(\text{C}_2\text{H}_4)}{m(\text{смеси})}; w(\text{C}_2\text{H}_4) = \frac{2,8}{17,6} = 0,159, \text{ или } 15,9\%.$$

Находим массу и массовую долю диэтилового эфира:

$$m(\text{эфира}) = m(\text{смеси}) - m(\text{C}_2\text{H}_4); m(\text{эфира}) = (17,6 - 2,8) \text{ г} = 14,8 \text{ г};$$

$$w(\text{эфира}) = \frac{m(\text{эфира})}{m(\text{смеси})}; w(\text{эфира}) = \frac{14,8}{17,6} = 0,841, \text{ или } 84,1\%.$$

23. К смеси метанола и этанола массой 11 г добавили избыток металлического натрия. В результате реакции выделился газ объемом 3,36 л (нормальные условия). Чему равны массовые доли спиртов в смеси? *Ответ:* метанола — 58,2%; этанола — 41,8%.

24. При нейтрализации смеси пальмитиновой и стеариновой кислот массой 106,6 г получили смесь пальмитата натрия и стеарата натрия массой 115,4 г. Определите массовые доли кислот в исходной смеси. *Ответ:* пальмитиновая кислота — 60%; стеариновая кислота — 40%.

25. Сожгли смесь метиламина и этиламина массой 10,7 г, получив азот объемом 3,36 л (нормальные условия). Определите массовые доли аминов в смеси. *Ответ:* метиламина — 57,9%; этиламина — 42,1%.

26. При взаимодействии смеси этиламина и диэтиламина массой 26,4 г с хлороводородом получили смесь солей массой 41 г. Определите массовые доли аминов в исходной смеси. *Ответ:* этиламина — 17%; диэтиламина — 83%.

27. Имеется смесь фенола и 4-бромфенола. К образцу этой смеси массой 4,4 г прибавили избыток брома. В результате реакции образовался 2,4,6-трибромфенол массой 9,93 г. Определите массовую долю 4-бромфенола в исходной смеси. *Ответ:* 78,6%.

28. К смеси пропаналя и 2-метилпропаналя массой 1,3 г добавили избыток аммиачного раствора оксида серебра. Образовался металлический осадок массой 4,32 г. Определите массу пропаналя в образце смеси альдегидов. *Ответ:* 0,58 г.

29. Смесь изомерных пропиловых спиртов массой 3,6 г подвергли окислению (окислитель взят в избытке, расщепления углеродного скелета не происходило), получив после отделения воды и избытка окислителя смесь двух органических веществ массой 3,8 г. Определите массовые доли спиртов в исходной смеси. *Ответ:* 33,3% пропанола-1 и 66,7% пропанола-2.

30. В сосуде вместимостью 13,44 л находится при нормальных условиях смесь этана, этилена и ацетилена. Масса сосуда со смесью равна 1230 г, масса откаченного сосуда равна 1213 г. При пропускании смеси через избыток аммиачного раствора оксида серебра образовалось твердое вещество массой 48 г. Рассчитайте объемные доли газов в смеси. *Ответ:* 50% этана, 16,7% этилена и 33,3% ацетилена.

31. При каталитическом гидрировании смеси пропаналя и этанала массой 19 г получили смесь соответствующих спиртов массой 19,8 г. Какая масса пропаналя подвергнута каталитическому гидрированию? *Ответ:* 5,8 г.

32. В растворе содержится хлорид натрия и бромид натрия, причем массовая доля растворенных веществ равна 22%. Через образец этого раствора массой 20 г пропустили избыток газообразного хлора. Раствор выпарили досуха и прокалили, получив сухой остаток массой 3,51 г. Определите массовые доли хлорида натрия и бромида натрия в исходном растворе.

*Решение.* Масса растворенных веществ в образце раствора составляет:

$$\begin{aligned}m(\text{NaCl}) + m(\text{NaBr}) &= mw(\text{NaCl} + \text{NaBr}); \\m(\text{NaCl}) + m(\text{NaBr}) &= 20 \cdot 0,22 \text{ г} = 4,4 \text{ г}.\end{aligned}$$

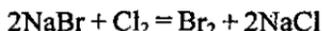
Обозначим массу хлорида натрия в исходной смеси буквой  $x$ , т. е.

$$m(\text{NaCl}) = x \text{ г}.$$

Тогда

$$m(\text{NaBr}) = (4,4 - x) \text{ г}.$$

При пропускании хлора через раствор происходит реакция:



Массу хлорида натрия, образующегося в результате реакции  $m'(\text{NaCl})$ , обозначим буквой  $y$ , т. е.  $m'(\text{NaCl}) = y \text{ г}$ .

Проводя выпаривание раствора и прокаливание остатка, удаляют воду, хлор и бром. Сухой остаток — это хлорид натрия, масса которого суммируется из массы исходного хлорида натрия и массы  $\text{NaCl}$ , полученного в результате реакции:

$$m(\text{NaCl}) + m'(\text{NaCl}) = 3,51 \text{ г},$$

или

$$x + y = 3,51. \quad (\text{а})$$

Определяем количество вещества  $\text{NaBr}$  в исходной смеси и количество вещества  $\text{NaCl}$ , полученного в результате реакции:

$$n(\text{NaBr}) = \frac{m(\text{NaBr})}{M(\text{NaBr})}; \quad n(\text{NaBr}) = \frac{4,4 - x}{103} \text{ моль};$$

$$n'(\text{NaCl}) = \frac{m'(\text{NaCl})}{M(\text{NaCl})}; n'(\text{NaCl}) = \frac{y}{58,5} \text{ моль.}$$

Из уравнения реакции следует, что  $n(\text{NaBr}) = n'(\text{NaCl})$ , или

$$\frac{4,4 - x}{103} = \frac{y}{58,5}. \quad (6)$$

Решая систему уравнений (а) и (б), находим:  $x = 2,34$ , т. е.  $m(\text{NaCl}) = 2,34$  г.

Вычисляем массу бромида натрия в растворе:

$$m(\text{NaBr}) = [m(\text{NaCl}) + m(\text{NaBr})] - m(\text{NaCl}); m(\text{NaBr}) = (4,4 - 2,34) \text{ г} = 2,06 \text{ г.}$$

Рассчитываем массовые доли хлорида и бромида натрия в растворе:

$$w(\text{NaCl}) = \frac{m(\text{NaCl})}{m}; w(\text{NaCl}) = \frac{2,34}{20} = 0,117, \text{ или } 11,7\%;$$

$$w(\text{NaBr}) = \frac{m(\text{NaBr})}{m}; w(\text{NaBr}) = \frac{2,06}{20} = 0,103, \text{ или } 10,3\%.$$

**33.** Имеется раствор, содержащий серную и азотную кислоты. При добавлении к образцу этого раствора массой 40 г избытка хлорида бария получили осадок массой 9,32 г. Для нейтрализации образца исходного раствора массой 20 г потребовался раствор объемом 14 мл с массовой долей гидроксида натрия 18% и плотностью 1,2 г/мл. Чему равны массовые доли кислот в исходном растворе? *Ответ:* 9,8%  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , 11,2%  $\text{HNO}_3$ .

**34.** При действии соляной кислоты на смесь железа с алюминием массой 16,6 г выделился водород объемом 10,13 л. Объем измерен при температуре 0°C и давлении 112 кПа. Определите массовую долю железа в смеси. Какой объем раствора с массовой долей кислоты 20% и плотностью 1,1 г/мл вступил в реакцию? *Ответ:* 67,5% Fe; кислота объемом 166 мл.

**35.** Образец мела содержит карбонат кальция, карбонат магния и некарбонатные примеси. Массовая доля этих примесей составляет 3%. При действии избытка соляной кислоты на образец мела массой 51,98 г получили газ объемом 11,31 л (нормальные условия). Вычислите массу карбоната кальция во взятом образце мела. *Ответ:* 50 г.

36. На сжигание природного газа объемом 200 л, содержащего метан, этан и негорючие примеси, затратили кислород объемом 395 л. Объемы газов измерены при нормальных условиях. Определите объемные доли метана и этана в газе, если объемная доля негорючих примесей составляет 5%. *Ответ:* метана — 90%; этана — 5%.

37. Для нейтрализации смеси муравьиной и уксусной кислот массой 8,3 г потребовался раствор с массовой долей гидроксида натрия 15% массой 40 г. Чему равна массовая доля уксусной кислоты в смеси кислот? *Ответ:* 72,3%.

38. Сплав натрия и калия массой 12,3 г прореагировал с раствором фенола в бензоле массой 200 г, массовая доля фенола в котором равна 23,5%. Какой объем водорода выделился в результате реакции? Объем рассчитайте при нормальных условиях. Вычислите массовую долю натрия в сплаве. *Ответ:* 5,6 л; 84,15%.

39. Медь образует сплав с неизвестным металлом, который в соединениях проявляет степень окисления +2. Массовая доля меди в сплаве составляет 90,8%. При растворении образца сплава массой 70,5 г в концентрированной серной кислоте выделился оксид серы (IV) объемом 24,64 л (нормальные условия). Какой металл образует сплав с медью? (Других газов при взаимодействии сплава с серной кислотой не образуется.) *Ответ:* цинк.

40. Имеется сплав двух металлов. Один компонент сплава растворяется в щелочах, оба металла растворяются в соляной кислоте. В соединениях металлы проявляют степень окисления +2. При действии раствора гидроксида натрия на образец сплава массой 5,7 г выделился водород объемом 2,24 л. Масса нерастворимого остатка составила 4,8 г. При растворении образца сплава массой 3,42 г в соляной кислоте образовался водород объемом 4,032 л. Какие металлы образуют сплав? Определите их массовые доли в сплаве. Объемы газов приведены к нормальным условиям. *Ответ:* бериллий — 15,8%; магний — 84,2%.

41. В раствор, содержащий хлорид магния (массовая доля 8,5%), хлорид никеля (II) (8%) и хлорид меди (II) (13,5%), массой 200 г поместили цинк массой 19,5 г. Какие металлы цинк вытеснит из раствора? Определите массу выделившихся металлов.

*Решение.* По ряду стандартных электродных потенциалов нахо-

дим:  $E^{\circ}_{\text{Mg}^{2+}/\text{Mg}} = -2,36\text{В}$ ;  $E^{\circ}_{\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}} = -0,76\text{В}$ ;  $E^{\circ}_{\text{Ni}^{2+}/\text{Ni}} = -0,25\text{В}$ ;

$E^{\circ}_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}} = -0,34\text{В}$ . Следовательно, цинк может замещать в водных

растворах солей только никель и медь, причем медь будет замещена в первую очередь.

Записываем уравнение реакции взаимодействия цинка с раствором хлорида меди (II):



Масса и количество вещества хлорида меди (II) в растворе составляет:

$$m(\text{CuCl}_2) = mw(\text{CuCl}_2); m(\text{CuCl}_2) = 200 \cdot 0,135 \text{ г} = 27 \text{ г};$$
$$n(\text{CuCl}_2) = \frac{m(\text{CuCl}_2)}{M(\text{CuCl}_2)}; n(\text{CuCl}_2) = \frac{27}{135} \text{ моль} = 0,2 \text{ моль}.$$

Из уравнения реакции (а) следует:

$$n_1(\text{Zn}) = n(\text{CuCl}_2); n_1(\text{Zn}) = 0,2 \text{ моль};$$
$$n(\text{Cu}) = n(\text{CuCl}_2); n(\text{Cu}) = 0,2 \text{ моль},$$

где  $n_1(\text{Zn})$  — количество вещества цинка, вступившего в реакцию с хлоридом меди (II), а  $n(\text{Cu})$  — количество вещества выделившейся меди.

Вычисляем массу цинка, вступившего в реакцию (а), и массу выделившейся меди:

$$m_1(\text{Zn}) = n_1(\text{Zn}) \cdot M(\text{Zn}); m_1(\text{Zn}) = 0,2 \cdot 65 \text{ г} = 13 \text{ г};$$
$$m(\text{Cu}) = n(\text{Cu}) \cdot M(\text{Cu}); m(\text{Cu}) = 0,2 \cdot 64 \text{ г} = 12,8 \text{ г}.$$

После реакции с медью остаток цинка будет иметь массу

$$m_2(\text{Zn}) = m(\text{Zn}) - m_1(\text{Zn}); m_2(\text{Zn}) = (19,5 - 13) \text{ г} = 6,5 \text{ г}.$$

Находим количество вещества оставшегося цинка:

$$n_2(\text{Zn}) = \frac{m_2(\text{Zn})}{M(\text{Zn})}; n_2(\text{Zn}) = \frac{6,5}{65} \text{ моль} = 0,1 \text{ моль}.$$

Уравнение реакции цинка с хлоридом никеля (II):



Определяем массу и количество вещества хлорида никеля (II) в растворе:

$$m(\text{NiCl}_2) = mw(\text{NiCl}_2); m(\text{NiCl}_2) = 200 \cdot 0,08 \text{ г} = 16 \text{ г};$$

$$n(\text{NiCl}_2) = \frac{m(\text{NiCl}_2)}{M(\text{NiCl}_2)}; n(\text{NiCl}_2) = \frac{16}{130} \text{ моль} = 0,123 \text{ моль}.$$

На основании уравнения реакции (б) записываем:

$$n_6(\text{Zn}) = n(\text{NiCl}_2),$$

следовательно, хлорид никеля имеется в избытке. Количество вещества никеля, выделившегося в результате реакции, составит:

$$n(\text{Ni}) = n_2(\text{Zn}); n(\text{Ni}) = 0,1 \text{ моль}.$$

Находим массу выделившегося никеля:

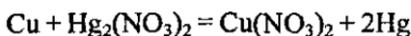
$$m(\text{Ni}) = n(\text{Ni}) \cdot M(\text{Ni}); m(\text{Ni}) = 0,1 \cdot 59 \text{ г} = 5,9 \text{ г}.$$

42. В раствор, содержащий нитрат калия, нитрат серебра и нитрат меди (II), массой 250 г, поместили железные опилки массой 1,12 г. Какие металлы выделятся из раствора, если массовые доли солей в растворе составляют: нитрата калия — 0,5%, нитрата серебра — 1,02%, нитрата меди (II) — 0,94%? Чему равны массы полученных металлов? *Ответ:* медь (0,8 г) и серебро (1,62 г).

43. В раствор, содержащий сульфат олова (II) (массовая доля 6%) и сульфат никеля (II) (8%), массой 50 г, поместили порошок неизвестного металла массой 0,646 г. Металл проявляет в соединениях степень окисления +2. Весь металл вступил в реакцию, в результате которой из раствора вытеснено все олово и половина никеля. Какой металл поместили в раствор? *Ответ:* магний.

44. Медную пластинку массой 100 г поместили в раствор массой 131,5 г с массовой долей нитрата ртути (I)  $\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2$  20%. Определите массу пластинки после окончания реакции.

*Решение.* При взаимодействии меди с раствором нитрата ртути (I) протекает следующая реакция:



Определяем массу и количество вещества нитрата ртути (I) в растворе:

$$m(\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2) = mw(\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2); m(\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2) = 131,5 \cdot 0,2 \text{ г} = 26,5 \text{ г};$$

$$n(\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2) = \frac{m(\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2)}{M(\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2)}; n(\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2) = \frac{26,5}{526} \text{ моль} = 0,05 \text{ моль}.$$

Находим количество вещества и массу меди, которая потребуется для реакции со всем нитратом ртути (I). Как следует из уравнения реакции,

$$n(\text{Cu}) = n(\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2); n(\text{Cu}) = 0,05 \text{ моль}; \\ m(\text{Cu}) = n(\text{Cu}) \cdot M(\text{Cu}); m(\text{Cu}) = 0,05 \cdot 64 \text{ г} = 3,2 \text{ г},$$

следовательно, медь взята в избытке, и вся ртуть, содержавшаяся в растворе, будет замещена медью.

Вычисляем количество вещества и массу полученной ртути. Из уравнения реакции следует:

$$n(\text{Hg}) = 2n(\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2); n(\text{Hg}) = 2 \cdot 0,05 \text{ моль} = 0,1 \text{ моль}; \\ m(\text{Hg}) = n(\text{Hg}) \cdot M(\text{Hg}); m(\text{Hg}) = 0,1 \cdot 201 \text{ г} = 20,1 \text{ г}.$$

Масса пластинки после реакции будет равна (в предположении, что выделившаяся ртуть осядет на пластинке):

$$m_2 = m_1 - m(\text{Cu}) + m(\text{Hg}); m_2 = (100 - 3,2 + 20,1) \text{ г} = 116,9 \text{ г},$$

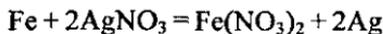
где  $m_1$  — масса пластинки до реакции.

45. Образец цинка массой 60 г поместили в раствор массой 200 г с массовой долей нитрата свинца (II) 6,62%. Определите массу образца металла после окончания реакции, считая, что весь выделившийся металл остался на этом образце. *Ответ:* 65,68 г.

46. В раствор массой 50 г с массовой долей сульфата олова (II) 21,5% поместили железные опилки массой 3,36 г. После окончания реакции металлический осадок собрали. Определите массу этого осадка. *Ответ:* 6,51 г.

47. Железную пластинку массой 20 г погрузили в раствор массой 80 г с массовой долей нитрата серебра 12%. Через некоторое время массовая доля нитрата серебра в растворе составила 8%. Определите, чему стала равна масса металлической пластины, если все полученное серебро выделилось на ней.

*Решение.* Записываем уравнение реакции между железом и нитратом серебра в растворе:



Вычисляем массу нитрата серебра в исходном растворе:

$$m_1(\text{AgNO}_3) = m_1 w_1(\text{AgNO}_3); m_1(\text{AgNO}_3) = 80 \cdot 0,12 \text{ г} = 9,6 \text{ г},$$

где  $m_1$  — масса исходного раствора.

Вводим обозначения:  $x$  — масса железа, вступившего в реакцию, т. е.  $m(\text{Fe}) = x$  г,  $y$  — масса серебра, выделившегося в результате реакции, т. е.  $m(\text{Ag}) = y$  г.

В результате реакции масса раствора изменилась:

$$m_2 = m_1 - m(\text{Ag}) + m(\text{Fe}); m_2 = (80 - y + x) \text{ г},$$

так как серебро выделилось из раствора, а железо перешло в раствор.

Определяем массу нитрата серебра в растворе после реакции:

$$m_2(\text{AgO}_3) = m_2 w_2(\text{AgO}_3); m_2(\text{AgNO}_3) = (80 - y + x) \cdot 0,08 \text{ г}.$$

Находим массу нитрата серебра, вступившего в реакцию:

$$m(\text{AgNO}_3) = m_1(\text{AgNO}_3) - m_2(\text{AgNO}_3);$$

$$m(\text{AgNO}_3) = [9,6 - (80 - y + x) \cdot 0,08] \text{ г} = (3,2 + 0,08y - 0,08x) \text{ г}.$$

Количество вещества нитрата серебра, вступившего в реакцию, равно:

$$n(\text{AgNO}_3) = \frac{m(\text{AgNO}_3)}{M(\text{AgNO}_3)}; n(\text{AgNO}_3) = \frac{3,2 + 0,08y - 0,08x}{170} \text{ моль}.$$

Определяем количество вещества железа, вступившего в реакцию, и серебра, полученного в результате реакции:

$$n(\text{Fe}) = \frac{m(\text{Fe})}{M(\text{Fe})}; n(\text{Fe}) = \frac{x}{56} \text{ моль};$$

$$n(\text{Ag}) = \frac{m(\text{Ag})}{M(\text{Ag})}; n(\text{Ag}) = \frac{y}{108} \text{ моль}.$$

На основании уравнения реакции записываем:

$$\frac{n(\text{Fe})}{n(\text{AgNO}_3)} = 1 : 2; 2n(\text{Fe}) = n(\text{AgNO}_3),$$

или

$$\frac{2x}{56} = \frac{3,2 + 0,08y - 0,08x}{170}. \quad (\text{a})$$

Из уравнения реакции следует также:

$$\frac{n(\text{Fe})}{n(\text{Ag})} = 1 : 2; 2n(\text{Fe}) = n(\text{Ag}),$$

или

$$\frac{2x}{56} = \frac{y}{108} \quad (6)$$

Решая систему из уравнений (а) и (б) с двумя неизвестными, определяем:  $x = 0,55$ ;  $y = 2,11$ , т. е.

$$m(\text{Fe}) = 0,55 \text{ г}; m(\text{Ag}) = 2,11 \text{ г}.$$

Находим массу пластины после реакции:

$$\begin{aligned} m_2(\text{пластины}) &= m_1(\text{пластины}) - m(\text{Fe}) + m(\text{Ag}); \\ m_2(\text{пластины}) &= (20 - 0,55 + 2,11) \text{ г} = 21,56 \text{ г}. \end{aligned}$$

48. В раствор нитрата ртути (I)  $\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2$  массой 200 г поместили железные опилки. Массовая доля растворенного вещества первоначально составляла 20%. Через некоторое время массовая доля нитрата ртути (I) в растворе стала равной 10%. Какая масса ртути получена в результате реакции? *Ответ:* 15,8 г.

49. Сплав натрия и калия массой 13,1 г поместили в воду. Для нейтрализации полученного раствора затратили раствор объемом 109,6 мл с массовой долей азотной кислоты 25% и плотностью 1,15 г/мл. Чему равна массовая доля натрия в сплаве? *Ответ:* 70,2%.

50. Образец сплава цинка, алюминия и меди массой 20 г обработали избытком концентрированного раствора щелочи. При этом выделился газ объемом 7,1 л (нормальные условия). Масса нерастворимого остатка составила 2 г. Определите массовые доли металлов в сплаве. *Ответ:* 85% Zn; 5% Al; 10% Cu.

51. Спирт массой 2,07 г перевели в пар и пропустили через трубку с оксидом меди (II) массой 19,6 г. Твердый остаток из трубки частично растворился в соляной кислоте, на что был израсходован раствор объемом 139 мл (массовая доля  $\text{HCl}$  10%, плотность 1,05 г/мл). Определите, какой альдегид получен при окислении спирта. Вычислите массу альдегида, учитывая, что выход его составил 70%. *Ответ:* 1,386 г.

52. При сжигании смеси этанола и пропанола-1 массой 21,2 г образовался оксид углерода (IV), на поглощение которого затратили раствор объемом 200,5 мл с массовой долей гидроксида натрия 30% и плотностью 1,33 г/мл. При взаимодействии  $\text{CO}_2$  со щелочью образовалась средняя соль. Чему равна массовая доля этанола в исходной смеси спиртов? *Ответ:* 43,4%.

53. Для полного гидролиза смеси бутиловых эфиров муравьиной и уксусной кислот массой 32 г потребовался раствор объемом 108,1 мл с массовой долей гидроксида натрия 10% и плотностью 1,11 г/мл. Определите массовые доли эфиров в смеси. *Ответ:* бутилформиат — 63,75%; бутилацетат — 36,25%.

54. При нагревании смеси муравьиной и уксусной кислот массой 13,6 г с избытком этанола в присутствии концентрированной серной кислоты получили смесь сложных эфиров массой 20,6 г. Какая масса муравьиной кислоты вступила в реакцию? *Ответ:* 4,6 г.

55. К раствору гидроксида натрия объемом 60 мл и плотностью 1,2 г/мл добавили воду объемом 80 мл. Образец полученного раствора массой 20 г полностью нейтрализует раствор объемом 36 мл с массовой долей фосфорной кислоты 4% и плотностью 1,02 г/мл. Определите массовую долю гидроксида натрия в исходном растворе. *Ответ:* 19%.

56. При окислении неизвестного кислородосодержащего органического соединения массой 5,75 г образовалась уксусная кислота. Эту кислоту сожгли, получив газ, который прореагировал с раствором гидроксида калия объемом 80 мл и плотностью 1,25 г/мл, с образованием средней соли. Массовая доля КОН в этом растворе равна 28%. Какое вещество взято для окисления? Какая масса уксусной кислоты образовалась? *Ответ:* этанол; 7,5 г.

57. К смеси ацетилен и этилена объемом 150 мл прибавили водород объемом 350 мл. Смесь газов пропустили над нагретым платиновым катализатором, после чего ее объем стал равен 250 мл (все объемы приведены к нормальным условиям). Вычислите, какую массу водного раствора с массовой долей брома 3% может обесцветить исходная смесь ацетилен и этилена.

*Решение.* При пропускании газовой смеси над катализатором происходят реакции:



Даже если бы в исходной смеси находился только ацетилен, то для его гидрирования потребовался бы водород объемом 300 мл, следовательно, водород взят в избытке, а ацетилен и этилен полностью превращаются в этан по реакциям (а) и (б).

Вводим обозначения:  $V$  — объем смеси ацетилен и этилена;  $V_1(\text{H}_2)$  — объем водорода, добавленного к смеси;  $V_2(\text{H}_2)$  — объем

непрореагировавшего водорода;  $V(\text{H}_2)$  — объем водорода, вступившего в реакцию;  $V'$  — объем газовой смеси после реакции.

Из уравнений (а) и (б) видно, что объем полученного этана равен объему исходной смеси ацетилена и этилена, т. е.

$$V(\text{C}_2\text{H}_6) = V; V(\text{C}_2\text{H}_6) = 150 \text{ мл.}$$

Определяем объем водорода, который не вступил в реакцию:

$$V_2(\text{H}_2) = V' - V(\text{C}_2\text{H}_6); V_2(\text{H}_2) = (250 - 150) \text{ мл} = 100 \text{ мл.}$$

Следовательно, в реакцию вступил водород объемом

$$V(\text{H}_2) = V_1(\text{H}_2) - V_2(\text{H}_2); V(\text{H}_2) = (350 - 100) \text{ мл} = 250 \text{ мл.}$$

Пусть объем ацетилена в исходной газовой смеси равен  $V(\text{C}_2\text{H}_2)$ , тогда объем этилена составит:

$$V(\text{C}_2\text{H}_4) = V - V(\text{C}_2\text{H}_2); V(\text{C}_2\text{H}_4) = [150 - V(\text{C}_2\text{H}_2)] \text{ мл.}$$

Объем водорода, который прореагировал с ацетиленом, равен  $V_a(\text{H}_2)$ . С этиленом прореагировал водород объемом

$$V_6(\text{H}_2) = V(\text{H}_2) - V_a(\text{H}_2); V_6 = [250 - V_a(\text{H}_2)] \text{ мл.}$$

Из уравнения реакции (а) следует:

$$V(\text{C}_2\text{H}_2) = \frac{1}{2} V_a(\text{H}_2). \quad (\text{в})$$

На основании уравнения (б) записываем:

$$V(\text{C}_2\text{H}_4) = V_6(\text{H}_2)$$

или

$$150 - V(\text{C}_2\text{H}_2) = 250 - V_a(\text{H}_2) \quad (\text{г})$$

Решая систему уравнений (в) и (г), находим, что

$$V(\text{C}_2\text{H}_2) = 100 \text{ мл} = 0,1 \text{ л.}$$

Тогда объем этилена в смеси

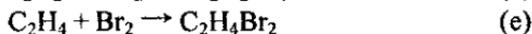
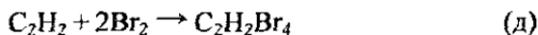
$$V(\text{C}_2\text{H}_4) = V - V(\text{C}_2\text{H}_2); V(\text{C}_2\text{H}_4) = (150 - 100) \text{ мл} = 50 \text{ мл} = 0,05 \text{ л.}$$

Вычисляем количества веществ ацетилена и этилена в смеси:

$$n(\text{C}_2\text{H}_2) = \frac{V(\text{C}_2\text{H}_2)}{V_m}; n(\text{C}_2\text{H}_2) = \frac{0,1}{22,4} \text{ моль} = 4,464 \cdot 10^{-3} \text{ моль};$$

$$n(\text{C}_2\text{H}_2) = \frac{V(\text{C}_2\text{H}_2)}{V_m}; n(\text{C}_2\text{H}_2) = \frac{0,05}{22,4} \text{ моль} = 2,232 \cdot 10^{-3} \text{ моль.}$$

Оба газа, находящиеся в смеси, могут реагировать с бромом, содержащемся в водном растворе:



Для осуществления реакции (д) требуется бром, который имеет такое количество вещества:

$$n_{\text{д}}(\text{Br}_2) = 2n(\text{C}_2\text{H}_2); n_{\text{д}}(\text{Br}_2) = 2 \cdot 4,464 + 10^{-3} \text{ моль} = 8,928 \cdot 10^{-3} \text{ моль.}$$

Аналогично находим:

$$n_{\text{е}}(\text{Br}_2) = n(\text{C}_2\text{H}_4); n_{\text{е}}(\text{Br}_2) = 2,232 \cdot 10^{-3} \text{ моль.}$$

Смесь газов может прореагировать с бромом, количество вещества и масса которого равны:

$$n(\text{Br}_2) = n_{\text{д}}(\text{Br}_2) + n_{\text{е}}(\text{Br}_2); n(\text{Br}_2) = (8,928 \cdot 10^{-3} + 2,232 \cdot 10^{-3}) \text{ моль} = 1,116 \cdot 10^{-2} \text{ моль;}$$

$$m(\text{Br}_2) = n(\text{Br}_2) \cdot M(\text{Br}_2); m(\text{Br}_2) = 1,116 \cdot 10^{-2} \cdot 160 \text{ г} = 1,7856 \text{ г.}$$

Вычисляем массу раствора брома, который может обесцветить исходная смесь газов:

$$m(\text{раствора}) = \frac{m(\text{Br}_2)}{w(\text{Br}_2)}; m(\text{раствора}) = \frac{1,7856}{0,03} \text{ г} = 59,52 \text{ г.}$$

58. При сжигании смеси циклогексана и бензола выделился газ, который пропустили через избыток раствора гидроксида бария. При этом выпал осадок массой 147,8 г. На bromирование того же количества смеси в присутствии бромиды железа (III) затратили раствор брома в тетраxлориде углерода массой 80 г, массовая доля брома в котором равна 10%. Определите массовые доли углеводородов в исходной смеси. *Ответ:* циклогексана 61,8%; бензола 38,2%.

59. Имеется смесь спирта (массовая доля 20%) и альдегида (массовая доля 80%) массой 7,25 г. Альдегид и спирт содержат одинаковое число углеродных атомов в цепи. Эти вещества взаимопревращаемы. К смеси добавили избыток аммиачного раствора оксида серебра, получив металлический осадок массой 21,6 г. Определите

структурные формулы исходного спирта и альдегида и назовите их.  
*Ответ:* пропанол-1 и пропаналь.

60. Сплав магния и алюминия массой 75 г растворили в серной кислоте, получив смесь сульфатов металлов массой 411 г. Какую массу магния надо сплавить с алюминием массой 540 г для получения такого сплава? *Ответ:* 960 г.

61. Водород вступил в реакцию с газообразным простым веществом X. При этом образовался газ Y. Вещество Y прореагировало с кислородом воздуха в присутствии платинового катализатора. В результате получили оксид азота (II) объемом 179,2 л (нормальные условия). Назовите вещество X и определите, какая масса его вступила в реакцию.

*Решение.* Оксид азота (II) образуется при окислении аммиака в присутствии платинового катализатора, следовательно, газ Y — аммиак, а простое вещество X — азот. Уравнения протекающих реакций:



Определяем количество вещества оксида азота (II), полученного в результате реакции (б):

$$n(\text{NO}) = \frac{V(\text{NO})}{V_m}; n(\text{NO}) = \frac{179,2}{22,4} \text{ моль} = 8 \text{ моль.}$$

Как следует из уравнения реакции (б),

$$n(\text{NH}_3) = n(\text{NO}); n(\text{NH}_3) = 8 \text{ моль.}$$

На основании уравнения реакции (а) записываем:

$$n(\text{N}_2) = \frac{1}{2} n(\text{NH}_3); n(\text{N}_2) = \frac{8}{2} \text{ моль} = 4 \text{ моль.}$$

Масса азота, вступившего в реакцию, составляет:

$$m(\text{N}_2) = n(\text{N}_2) \cdot M(\text{N}_2); m(\text{N}_2) = 4 \cdot 14 \text{ г} = 56 \text{ г.}$$

62. При термическом разложении газа X, который имеет запах тухлых яиц, образовалось простое вещество Y, которое сгорает на воздухе голубым пламенем, в результате чего получается газ Z объемом 8 л (нормальные условия). Назовите вещества X, Y и Z, определите объем взятого для реакции газа X. *Ответ:* X — сероводород, Y — сера, Z — оксид серы (IV); 8 л.

63. При растворении металла X в азотной кислоте образовался оксид азота (II) объемом 8,96 л (нормальные условия). Полученный раствор нейтрализовали избытком раствора щелочи. Выпавший осадок голубого цвета отделили и прокалили, получив оксид меди (II). Напишите уравнения осуществленных реакций. Какая масса металла была взята? *Ответ:* 38,4 г.

64. Образец неизвестного металла, проявляющего в соединениях степень окисления +1, растворили в азотной кислоте, получив оксид азота (II) объемом 0,224 л (нормальные условия). К полученному раствору добавили избыток иодида натрия, в осадок выпал иодид металла массой 7,05 г. Какой металл был взят? Рассчитайте массу исходного образца металла. *Ответ:* серебро; 3,24 г.

65. Простое вещество красно-бурого цвета нагрели без доступа воздуха, получив белое вещество, которое легко сгорает на воздухе. Продукт горения поместили в избыток воды, а к полученному раствору прилили избыток раствора гидроксида калия. В результате получили раствор массой 84,8 г, содержащий фосфат калия, массовая доля которого равна 5%. Какое простое вещество взяли для осуществления указанных выше превращений? Определите массу этого вещества. Напишите уравнения всех протекающих реакций. *Ответ:* красный фосфор; 0,62 г.

66. Непредельный углеводород, который реагирует с растворами солей серебра и меди (I), пропустили через нагретую трубку с активированным углем, получив жидкость объемом 39,44 мл и плотностью 0,89 г/мл. Это вещество не реагирует с бромной водой, но взаимодействует с бромом в присутствии бромиды железа (III). Какой углеводород был взят? Какая масса бромпроизводного образуется, если ко всему полученному веществу добавить избыток брома в присутствии железных опилок? *Ответ:* ацетилен; 70,65 г.

67. Из бензола синтезом в две стадии получили азотсодержащее органическое соединение, которое легко взаимодействует с бромной водой, образуя трибромпроизводное. При реакции этого азотсодержащего соединения с избытком бромоводорода образовалась соль массой 46,98 г. Какое соединение было получено синтезом в две стадии из бензола? Какая масса бензола вступила в реакцию, если выход продуктов на каждой из трех стадий синтеза равен 75%? *Ответ:* получен анилин; бензол массой 49,92 г.

68. К раствору массой 400 г, в котором содержится сульфат меди (II), прилили избыток раствора щелочи. Осадок отделили и

прокалили. Над образовавшимся веществом пропустили избыток водорода при нагревании. Получили металл, который растворили в горячей концентрированной серной кислоте, собрав газ объемом 5,6 л (нормальные условия). Определите массовую долю сульфата меди (II) в исходном растворе. *Ответ:* 10%.

69. Водород объемом 280 л (нормальные условия) прореагировал с некоторым металлом, образовав гидрид состава  $\text{MeH}$ . Выход продукта равен 30%. При разложении гидрида водой выделился газ и получился гидроксид  $\text{MeOH}$ , к которому прилили избыток раствора серной кислоты. Раствор окрашивает пламя горелки в фиолетовый цвет. Какой металл был взят? Какая масса сульфата металла может быть выделена из раствора? *Ответ:* калий; сульфат калия массой 652,5 г.

70. Кислородсодержащее органическое соединение X, получаемое при гидролизе жиров, реагирует с гидроксидом меди (II), образуя вещество ярко-синего цвета. Соединение X может быть получено также при каталитическом окислении пропилена. К образцу вещества X добавили избыток натрия, собрав с выходом 70% водорода объемом 4,704 л (нормальные условия). Какая масса пропилена потребуется для получения данного образца вещества X, если выход продукта при каталитическом окислении составляет 80%? Назовите соединение X. *Ответ:* X — глицерин; пропилен массой 10,5 г.

71. Некоторый жир подвергли омылению. К продуктам реакции добавили кислоту и выделили три соединения: А, Б и В. Соединение А образует с гидроксидом меди (II) ярко-синее соединение. Вещества Б и В окрашивают лакмус в красный цвет и имеют неразветвленные углеродные цепи. Б легко присоединяет хлор, образуя дихлорпроизводное (массовая доля хлора равна 20,1%). Вещество В не присоединяет галогены. Массовая доля кислорода в веществе В равна 27,6%. Определите вещества А, Б и В. *Ответ:* глицерин, олеиновая кислота, капроновая кислота.

72. Магниевые опилки массой 12 г погрузили в раствор сульфата меди (II). После завершения реакции металлический осадок отделили, его масса составила 20 г. Рассчитайте минимальный объем раствора азотной кислоты (массовая доля  $\text{HNO}_3$  36%, плотность 1,22 г/мл), который потребуется для растворения полученного металлического осадка. Считать, что продуктом восстановления кислоты металлом является оксид азота (II). *Ответ:* 287 мл.

73. Образец органического вещества массой 4,3 г сожгли в кислороде. Продуктами реакции являются оксид углерода (IV) объе-

мом 6,72 л (нормальные условия) и вода массой 6,3 г. Относительная плотность паров исходного вещества по водороду равна 43. Определите формулу вещества. *Ответ:*  $C_6H_{14}$ .

74. При сжигании смеси двух изомерных органических соединений образовался азот объемом 5,376 л (нормальные условия). Массовая доля азота в исходных веществах равна 31,1%. Рассчитайте массу исходной смеси веществ, напишите их структурные формулы и дайте им названия. *Ответ:* 21,6 г.

75. При щелочном гидролизе в избытке гидроксида натрия сложного эфира массой 43,5 г получено два предельных органических соединения общей массой 58,5 г. Одно из полученных соединений соответствует формуле  $C_4H_{10}O$  и имеет нормальное строение. Напишите структурную формулу исходного эфира и назовите его. *Ответ:* бутилацетат.

76. В раствор хлорида железа (III) поместили медную пластинку. После растворения пластинки молярная концентрация  $FeCl_3$  в растворе уменьшилась в 1,5 раза. В раствор внесли еще одну медную пластинку той же массы, что и первая. Во сколько раз молярная концентрация хлорида железа (III) будет отличаться от молярной концентрации хлорида меди (II) после растворения второй пластинки. *Ответ:* равны.

77. Газообразное простое вещество А объемом 6,72 л (нормальные условия) пропустили через горячий раствор гидроксида калия, получив смесь двух солей Б и В. Соль Б используется в производстве спичек. При нагревании выделенной из раствора соли Б в присутствии каталитических количеств перманганата калия образовался газ Г. Определите объем газа Г, учитывая, что массовая доля выхода продукта в каждой реакции составила 75%. Назовите вещества А, Б, В и Г и напишите уравнения всех реакций, о которых говорится в задаче. *Ответ:* 1,89 л  $O_2$ .

78. Органическое вещество А может быть выделено из природных объектов. Это вещество подвергнуто щелочному гидролизу с использованием водного раствора гидроксида натрия. В результате образовалась сиропообразная жидкость Б и твердое вещество В. Соединения Б и В используются в парфюмерной промышленности. Вещество В — предельное, имеет неразветвленную углеродную цепь. При добавлении кислоты к В образуется органическое соединение Г, в котором массовая доля углерода равна 75%. Назовите вещества А, Б, В и Г. *Ответ:* А — трипальмитат.

79. Углеводород А, реагирующий с выделением осадка с аммиачным раствором оксида серебра, массой 1,8 г, подвергли каталитическому гидрированию, получив смесь двух соединений — Б и В. Вещество В присоединяет бром, реагируя с бромной водой. Масса полученного бромпроизводного равна 6,06 г, массовая доля брома в этом бромпроизводном равна 79,2%. Определите структурные формулы веществ А, Б и В и назовите их. Рассчитайте массовые доли соединений Б и В в их смеси, полученной при каталитическом гидрировании вещества А. *Ответ:* 34,375% пропанола; 65,625% пропилена.

80. В смеси находятся два карбоната, которые содержат катионы  $A^+$  и  $B^{2+}$ . Молярные доли карбонатов в смеси равны. При прокаливании смеси выделяется газовая смесь, объем которой уменьшается в 2 раза при пропускании как через раствор кислоты, так и через раствор щелочи. Масса твердого остатка после прокаливании в 1,915 раза меньше, чем масса исходной смеси. Определите катионы  $A^+$  и  $B^{2+}$  и рассчитайте массовые доли карбонатов в исходной смеси. *Ответ:* 32,8%  $(NH_4)_2CO_3$  и 67,2%  $BaCO_3$ .

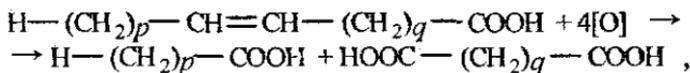
81. При окислении одноосновной органической кислоты образовались две другие кислоты (одноосновная и двухосновная). Образец двухосновной кислоты, выделенной из смеси, массой 6,49 г, оттитровали раствором щелочи (массовая доля КОН 4%, плотность 1,035 г/мл), при этом затрачен раствор объемом 148,8 мл. Об исходной кислоте также известно, что она имеет неразветвленную углеродную цепь и присоединяет бром (массовая доля брома в полученном бромпроизводном равна 53%). Определите формулу исходной и полученной кислот, напишите уравнения реакций.

*Решение.* Тот факт, что кислота присоединяет бром и окисляется с образованием двух кислот, указывает на ее непредельный характер. Окисление таких кислот происходит по месту кратной связи. Учитывая неразветвленность углеродной цепи, представляем формулу исходной кислоты в следующем виде:



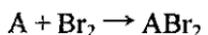
где  $p$  и  $q$  могут быть равны 0, 1, 2, 3, 4, ...

Составляем уравнение реакции окисления кислоты:



т. е. образуются предельная одноосновная и предельная двухосновная кислоты.

Известно, что исходная кислота (обозначим ее буквой А) присоединяет бром:



Если выбрать образец полученного бромпроизводного количеством вещества 1 моль [ $n(ABr_2) = 1$  моль], то можно записать:

$$\begin{aligned} n(Br) &= 2n(ABr_2); n(Br) = 2 \text{ моль}; \\ m(Br) &= n(Br) \cdot M(Br); m(Br) = 2 \cdot 80 \text{ г} = 160 \text{ г}; \\ m(ABr_2) &= n(ABr_2) \cdot M(ABr_2) = n(ABr_2)[M(A) + 2M(Br)]; \\ m(ABr_2) &= 1[M(A) + 2 \cdot 80] \text{ г} = [M(A) + 160] \text{ г}; \end{aligned}$$

$$\omega(Br) = \frac{m(Br) \cdot 100}{m(ABr_2)}; 53 = \frac{160 \cdot 100}{M(A) + 160}.$$

Решая полученное уравнение, вычисляем молярную массу кислоты:  $M(A) \approx 142$  г/моль.

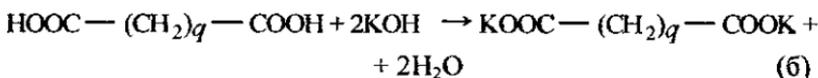
С другой стороны, используя написанную выше формулу кислоты, можно представить ее молярную массу в следующем виде:

$$\begin{aligned} M(A) &= M(C) \cdot (3 + p + q) + M(O) \cdot 2 + M(H) \cdot (4 + 2p + 2q); \\ M(A) &= [12(3 + p + q) + 16 \cdot 2 + 1(4 + 2p + 2q)] \text{ г/моль} = (14p + 14q + 72) \text{ г/моль}. \end{aligned}$$

Отсюда получаем:

$$14p + 14q + 72 = 142. \quad (a)$$

Записываем уравнение реакции двухосновной кислоты с гидроксидом калия:



Вычисляем массу раствора KOH, массу и количество вещества гидроксида калия, пошедшего на титрование:

$$\begin{aligned} m &= V\rho; m = 148,8 \cdot 1,035 \text{ г} \approx 154 \text{ г}; \\ m(KOH) &= \frac{m \cdot \omega(KOH)}{100}; m(KOH) = \frac{154 \cdot 4}{100} \text{ г} = 6,16 \text{ г} \end{aligned}$$

$$n(\text{KOH}) = \frac{m(\text{KOH})}{M(\text{KOH})}; n(\text{KOH}) = \frac{6,16}{56} \text{ моль} = 0,11 \text{ моль.}$$

Молярную массу двухосновной кислоты (обозначаем ее буквой  $Q$ ) можно представить в следующем виде:

$$M(Q) = M(\text{C}) \cdot (2 + q) + M(\text{O}) \cdot 4 + M(\text{H}) \cdot (2 + 2q);$$

$$M(Q) = [12(2 + q) + 16 \cdot 4 + 1(2 + 2q)] \text{ г/моль} = (14q + 90) \text{ г/моль.}$$

Рассчитываем количество вещества кислоты  $Q$ , взятой для титрования:

$$n(Q) = \frac{m(Q)}{M(Q)}; n(Q) = \frac{6,49}{14q + 90} \text{ моль.}$$

Из уравнения реакции (б) следует:

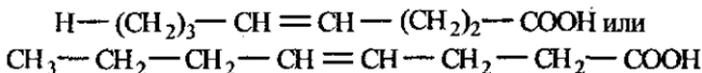
$$\frac{n(Q)}{n(\text{KOH})} = \frac{1}{2}; n(Q) = \frac{1}{2} n(\text{KOH}); n(Q) = \frac{1}{2} \cdot 0,11 \text{ моль} =$$

$$= 0,055 \text{ моль.}$$

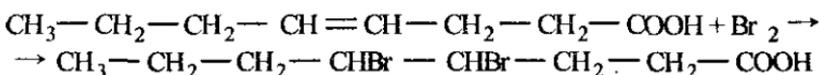
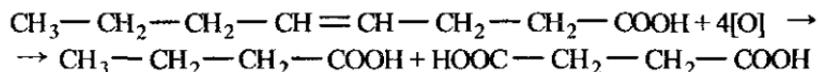
Получаем уравнение:

$$\frac{6,49}{14q + 90} = 0,055. \quad (\text{в})$$

Решая систему уравнений (а) и (в), находим, что  $q = 2$ ,  $p = 3$ , т. е. формула исходной кислоты выглядит следующим образом:



Записываем уравнения реакций с участием этой кислоты (реакции окисления и бромирования):



82. Элементы-металлы А и Б образуют растворимые соли  $\text{A}_2\text{CO}_3$  и  $\text{BSO}_4$ . При смешении растворов, которые содержат карбонат элемента А массой 6,36 г и сульфат Б массой 9,36 г, образовался осадок массой 6,9 г. Обе соли при этом прореагировали полностью. Назовите элементы А и Б. *Ответ:* натрий и марганец.

83. \*Как, используя уголь и неорганические вещества, получить метилформиат? Напишите уравнения реакций и укажите условия их протекания.

84. Соединение X — жидкость с характерным резким запахом. При действии хлора на X образуется вещество Y, имеющее плотность паров по воздуху 3,26. Вещество Y реагирует с аммиаком с образованием соединения Z, которое дает соли как с кислотами, так и с основаниями. Назовите вещества X, Y и Z. *Ответ:* Z — аминокислота.

85. Приведите примеры окислительно-восстановительных реакций, в которых: а) два элемента повышают степень окисления; б) два элемента понижают степень окисления; в) один элемент в разных степенях окисления в реакции является как окислителем, так и восстановителем. Составьте уравнения этих реакций методом электронного баланса.

86. Два углеводорода А и Б, имеющие циклическое строение, являются соседними членами одного гомологического ряда. Массовая доля углерода в обоих веществах А и Б составляет 85,71%. Относительная плотность смеси А и Б по водороду составляет 29,4. Определите формулы углеводородов А и Б. К какому гомологическому ряду они относятся? Изобразите структурные формулы изомеров веществ А и Б. Рассчитайте массовые доли газов в их смеси. *Ответ:* циклобутан (76,2%), циклопентан (23,8%).

87. Образец щелочно-земельного металла разделили на две части, масса одной части в два раза больше другой. Меньшую часть образца поместили в воду. При этом выделился водород, при помощи которого восстановили до металла оксид меди (II) массой 2 г. Большую часть образца щелочно-земельного металла поместили в трубку, через которую пропустили хлор при нагревании. Полученное твердое вещество растворили в воде, к раствору добавили серную кислоту. Образовался осадок, масса которого составила 11,65 г. Какой металл был взят? *Ответ:* барий.

88. Массовая доля сульфата натрия в насыщенном при температуре 0°C растворе составляет 4,3%. К раствору серной кислоты объемом 80 мл (массовая доля  $H_2SO_4$  30%, плотность 1,22 г/мл) добавили раствор гидроксида натрия (массовая доля NaOH 32%) до полной нейтрализации. Раствор охладили до температуры 0°C. Определите массу выпавшей соли, учитывая, что образуется кристаллогидрат  $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$ . *Ответ:* 87 г.

89. В водный раствор хлорида натрия погрузили инертные электроды и пропустили электрический ток. На нейтрализацию полученного раствора затрачена соляная кислота объемом 34,2 мл (массовая доля  $\text{HCl}$  10%, плотность 1,05 г/мл). Рассчитайте, с каким минимальным объемом холодного раствора гидроксида натрия (массовая доля  $\text{NaOH}$  12,8%, плотность 1,14 г/мл) прореагирует выделившийся при электролизе хлор. *Ответ:* 27 мл.

90. Имеется смесь порошков алюминия и оксида неизвестного металла, в котором металл проявляет степень окисления +2. Образец этой смеси массой 3,58 г поместили в раствор щелочи, получив газ, при сгорании которого образовалась вода массой 1,08 г. На растворение твердого остатка затрачен раствор серной кислоты объемом 25,8 мл (массовая доля  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) 20%, плотность 1,14 г/мл). Какой оксид находится в смеси с алюминием? *Ответ:*  $\text{MgO}$ .

91. Вещество А представляет собой трикристаллогидрат некоторой соли. При нагревании вещества А удаляется кристаллизационная вода, а затем соль разлагается с образованием веществ Б (твердое, черный цвет), В (газ, бесцветный) и Г (газ, бурый цвет). При восстановлении вещества Б водородом образуется вещество Д красного цвета, которое растворимо в концентрированной серной кислоте с образованием газа Е. Назовите вещества А, Б, В, Г, Д и Е, составьте уравнения всех реакций, о которых говорится в условии. Рассчитайте объем газа Е, который образуется при растворении в концентрированной серной кислоте вещества Д, полученного, исходя из вещества А массой 84,7 г. Объем рассчитайте при нормальных условиях. *Ответ:* 7,84 л.

92. Известно, что тяжелая бесцветная маслянистая жидкость Х хорошо поглощает воду и растворяется в воде с сильным выделением теплоты. При добавлении Х к раствору хлорида бария выпадает белый кристаллический осадок, не растворяющийся в кислотах. Назовите вещество Х. Определите массу меди, которую надо растворить в жидкости Х, чтобы выделившийся газ прореагировал с избытком сероводорода с образованием серы массой 48 г. *Ответ:* 32 г.

93. Кристаллическая соль темного цвета массой 63,2 г обработана избытком концентрированной соляной кислоты. Весь выделившийся газ с резким запахом использовали для реакции с 33,6 г железа. Полученное в результате реакции твердое вещество поместили в 600 г воды. Определите массовую долю растворенного вещества в полученном растворе. *Ответ:* 14%.

94. Некоторый металл, проявляющий в соединениях степень окисления +3, массой 10,8 г сплавил с избытком серы. Полученное вещество обработали водой до окончания выделения газа, который пропустили через избыток раствора нитрата свинца (II). При этом было собрано 143,4 г осадка. Определите, какой металл был взят для осуществления превращений. *Ответ:* алюминий.

95. Аммиак сгорел в кислороде в замкнутом сосуде без катализатора. После окончания реакции и охлаждения смеси объем газа составил 8,96 л (нормальные условия). Эту газовую смесь пропустили через избыток раствора ортофосфорной кислоты, при этом объем газа уменьшился на 3,36 л (нормальные условия). Определите массу магния, который мог бы прореагировать с оставшимся после прохождения смеси через кислоту газом. Рассчитайте объем аммиака в исходной смеси с кислородом. *Ответ:* 18 г; 14,56 л.

96. Белое кристаллическое вещество А окрашивает пламя горелки в фиолетовый цвет. При нагревании А в присутствии оксида марганца (IV) образуется вещество В и бесцветный газ С. Раствор В с избытком нитрата серебра дал белый творожистый осадок D. При пропускании газа С над красноватым металлом E образовался оксид F черного цвета массой 48 г. Назовите вещества А, В, С, D, E и F. Определите массу образовавшегося вещества D. *Ответ:* 28,7 г.

97. При гидролизе сложного эфира образовалась уксусная кислота, для нейтрализации которой потребовалось 90,1 мл 10%-ного раствора гидроксида натрия (плотность 1,11 г/мл). Пары образовавшегося спирта пропустили над оксидом фосфора (V), а полученное при этом вещество присоединило бром. Получено бромпроизводное массой 47 г. Определите, какой эфир был подвергнут гидролизу и его массу. *Ответ:* 22 г.

98. Ацетиленовый углеводород имеет пять углеродных атомов в главной цепи. Он не реагирует с аммиачным раствором оксида серебра (I). При взаимодействии углеводорода с избытком брома в реакцию вступило 32 г  $\text{Br}_2$  и образовался продукт массой 40,2 г. Определите, какой углеводород был взят, напишите его структурную формулу. *Ответ:* 4-метилпентин-2.

99. При нагревании нитрата натрия получен газ X. Газ Y образовался при действии избытка щелочи на сульфат аммония массой 26,4 г. Весь газ Y и избыток X прореагировали друг с другом в присутствии платинового катализатора, при этом получен газ Z. Весь Z в присутствии избытка X растворен в воде массой 500 г.

Какое вещество находится в растворе? Определите его массовую долю. *Ответ:* 4,8%.

**100.** К избытку гидроксида меди (II) добавили предельное органическое соединение X, в результате реакции образовалось вещество Y. Половину полученного вещества Y нагревали с избытком этанола в присутствии концентрированной серной кислоты, выделив ароматическое вещество массой 15,3 г. К другой половине вещества Y добавили избыток гидрокарбоната калия и собрали газ объемом 3,36 л (нормальные условия). Определите вещества X и Y и массу исходного вещества X. *Ответ:* 17,4 г.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

### 1. Округленные значения относительных атомных масс некоторых химических элементов

Элемент	Сим-вол	A <sub>r</sub>	Элемент	Сим-вол	A <sub>r</sub>	Элемент	Сим-вол	A <sub>r</sub>
Азот	N	14	Калий	K	39	Рубидий	Rb	85,5
Алюминий	Al	27	Кальций	Ca	40	Свинец	Pb	207
Аргон	Ar	40	Кислород	O	16	Селен	Se	79
Барий	Ba	137	Кобальт	Co	59	Сера	S	32
Бериллий	Be	9	Кремний	Si	28	Серебро	Ag	108
Бор	B	11	Криптон	Kr	84	Скандий	Sc	45
Бром	Br	80	Ксенон	Xe	131	Стронций	Sr	88
Ванадий	V	51	Лантан	La	139	Сульма	Sb	122
Висмут	Bi	209	Литий	Li	7	Таллий	Tl	204
Водород	H	1	Магний	Mg	24	Тантал	Ta	181
Вольфрам	W	184	Марганец	Mn	55	Теллур	Te	128
Галлий	Ga	70	Медь	Cu	64	Титан	Ti	48
Гафний	Hf	178,5	Молибден	Mo	96	Углерод	C	12
Гелий	He	4	Мышьяк	As	75	Уран	U	238
Германий	Ge	73	Натрий	Na	23	Фосфор	P	31
Железо	Fe	56	Неон	Ne	20	Фтор	F	19
Золото	Au	197	Никель	Ni	59	Хлор	Cl	35,5
Индий	In	115	Ниобий	Nb	93	Хром	Cr	52
Иод	I	127	Олово	Sn	119	Цезий	Cs	133
Иттрий	Y	89	Платина	Pt	195	Цинк	Zn	65
Кадмий	Cd	112	Ртуть	Hg	201	Цирконий	Zr	91

### 2. Некоторые важнейшие физические величины

Заряд электрона . . . . .	$(1,6021892 \pm 0,0000046)10^{-19}$ Кл
Масса покоя электрона . . . . .	$(1,109534 \pm 0,000047)10^{-31}$ кг
Атомная единица массы (а.е.м.)	$(1,6605655 \pm 0,0000086)10^{-27}$ кг

Абсолютный нуль температуры . . . . .  $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$   
 Постоянная Авогадро . . . . .  $(6,022045 \pm 0,000031)10^{23}\text{ моль}^{-1}$   
 Постоянная Фарадея . . . . .  $(9,648456 \pm 0,000027)10^4\text{ Кл} \cdot \text{моль}^{-1}$   
 Универсальная газовая постоянная . . . . .  $(8,31441 \pm 0,00026)\text{ Дж} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$   
 Молярный объем идеального газа  
 при нормальных условиях (темпе-  
 ратуре  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  и давлении  $101325\text{ Па}$ ) . . . . .  $(22,41383 \pm 0,0070)10^{-3}\text{ м}^3 \cdot \text{моль}^{-1}$

### 3. Растворимость оснований и солей в воде

Катионы	Анионы												
	OH <sup>-</sup>	F <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Br <sup>-</sup>	I <sup>-</sup>	S <sup>2-</sup>	SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	SiO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	CH <sub>3</sub> COO <sup>-</sup>
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	-	р	р	р	р	-	р	р	р	р	р	-	р
Na <sup>+</sup> , K <sup>+</sup>	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р	р
Mg <sup>2+</sup>	м	т	р	р	р	р	т	р	т	т	т	т	р
Ca <sup>2+</sup>	м	т	р	р	р	м	т	м	р	т	т	т	р
Ba <sup>2+</sup>	р	м	р	р	р	р	т	т	р	т	т	т	р
Al <sup>3+</sup>	т	м	р	р	р	-	-	р	р	т	-	т	м
Cr <sup>3+</sup>	т	т	р	р	р	-	-	р	р	т	-	т	р
Zn <sup>2+</sup>	т	м	р	р	р	т	т	р	р	т	т	т	р
Mn <sup>2+</sup>	т	м	р	р	р	т	т	р	р	т	т	т	р
Co <sup>2+</sup> , Ni <sup>2+</sup>	т	р	р	р	р	т	т	р	р	т	т	т	р
Fe <sup>2+</sup>	т	т	р	р	р	т	т	р	р	т	т	т	р
Fe <sup>3+</sup>	т	т	р	р	р	-	-	р	р	т	т	т	р

Анионы	
Катионы	
	OH <sup>-</sup> F <sup>-</sup> Cl <sup>-</sup> Br <sup>-</sup> I <sup>-</sup> S <sup>2-</sup> SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> SiO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> CH <sub>3</sub> COO <sup>-</sup>
Cd <sup>2+</sup>	т р р р р т т р р т т т р
Hg <sup>2+</sup>	- - р м т т т р р т т - р
Cu <sup>2+</sup>	т т р р р т т р р т т т р
Ag <sup>+</sup>	- р т т т т т м р т т т р
Sn <sup>2+</sup>	т р р р р т - р - т - - р
Pb <sup>2+</sup>	т т м м т т т т р т т т р

р — растворимое вещество (растворимость свыше 1 г вещества в воде массой 100 г); м — малорастворимое вещество (в воде массой 100 г растворяется вещество массой от 0,1 г до 1 г); т — труднорастворимое вещество (в воде массой 100 г растворяется меньше 0,1 г вещества); — вещество не существует или разлагается водой.

#### 4. Относительные электроотрицательности элементов

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII		
1	H									He
	2,10									-
2	Li	Be	B	C	N	O	F			Ne
	0,97	1,47	2,01	2,50	3,07	3,50	4,10			-
3	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl			Ar
	1,01	1,23	1,47	1,74	2,1	2,6	2,83			-
4	K	Ca	Sr	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni
	0,91	1,04	1,20	1,32	1,45	1,56	1,60	1,64	1,70	1,75
	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br			Kr
	1,75	1,66	1,82	2,02	2,20	2,48	2,74			-
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Te	Ru	Rh	Pd
	0,89	0,99	1,11	1,22	1,23	1,30	1,36	1,42	1,45	1,35
	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I			Xe
	1,42	1,46	1,49	1,72	1,82	2,01	2,21			-
6	Cs	Hg	*	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt
	0,86	0,97		1,23	1,33	1,40	1,46	1,52	1,55	1,44
	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At			Rn
	1,42	1,44	1,44	1,55	1,67	1,67	1,90			-
7	Fr	Ra	**	* Лантаноиды: 1,08 — 1,14						
	0,86	0,97		** Актиноиды: 1,00 — 1,20						

## 5. Ряд стандартных электронных потенциалов

Электрод			Электрод		
окисленная форма	восстановленная форма	$E^\circ, \text{В}$	окисленная форма	восстановленная форма	$E^\circ, \text{В}$
$\text{Li}^+$	Li	-3,05	$\text{Cd}^{2+}$	Cd	-0,40
$\text{K}^+$	K	-2,93	$\text{Co}^{2+}$	Co	-0,28
$\text{Ba}^{2+}$	Ba	-2,91	$\text{Ni}^{2+}$	Ni	-0,25
$\text{Ca}^{2+}$	Ca	-2,87	$\text{Sn}^{2+}$	Sn	-0,14
$\text{Na}^+$	Na	-2,71	$\text{Pb}^{2+}$	Pb	-0,13
$\text{Mg}^{2+}$	Mg	-2,36	$2\text{H}^+$	$\text{H}_2$	0
$\text{Al}^{3+}$	Al	-1,66	$\text{Cu}^{2+}$	Cu	0,34
$\text{Mn}^{2+}$	Mn	-1,18	$\text{Hg}_2^{2+}$	$2\text{Hg}$	0,79
$\text{Zn}^{2+}$	Zn	-0,76	$\text{Ag}^+$	Ag	0,80
$\text{Cr}^{3+}$	Cr	-0,74	$\text{Pt}^{2+}$	Pt	1,20
$\text{Fe}^{2+}$	Fe	-0,44	$\text{Au}^{3+}$	Au	1,50

## 6. Десятичные приставки к названиям единиц

Множитель, на который умножается единица	Приставка	Обозначение приставки	Множитель, на который умножается единица	Приставка	Обозначение приставки
$10^{12}$	тера	т	$10^{-1}$	деци	д
$10^9$	гига	Г	$10^{-2}$	санتي	с
$10^6$	мега	М	$10^{-3}$	милли	м
$10^3$	кило	к	$10^{-6}$	микро	мк
$10^2$	гекто	г	$10^{-9}$	нано	н
$10^1$	дека	да	$10^{-12}$	пико	п

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие .....	3
Условные обозначения, названия и единицы физических величин .....	5
<b>Часть I. ОБЩАЯ ХИМИЯ .....</b>	<b>6</b>
1. Основные понятия и законы химии .....	6
2. Периодический закон Д.И. Менделеева и строение атомов. Химическая связь .....	24
3. Скорость химических реакций. Химическое равновесие .....	33
4. Растворы. Электролитическая диссоциация .....	38
5. Важнейшие классы неорганических соединений .....	60
6. Окислительно-восстановительные реакции .....	77
7. Электролиз .....	98
8. Комбинированные задачи .....	105
<b>Часть II. НЕОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ .....</b>	<b>114</b>
9. Водород. Галогены .....	114
10. Подгруппа кислорода .....	123
11. Подгруппа азота .....	128
12. Подгруппа углерода .....	134
13. Свойства металлов .....	139
14. Металлы главных подгрупп .....	153
15. Металлы побочных подгрупп .....	161
<b>Часть III. ОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ .....</b>	<b>172</b>
16. Алканы .....	172
17. Алкены. Алкины. Алкадиены .....	181
18. Ароматические углеводороды .....	190
19. Спирты и фенолы .....	196
20. Альдегиды .....	208
21. Карбоновые кислоты .....	212
22. Сложные эфиры. Жиры .....	223
23. Углеводы .....	227
24. Азотсодержащие органические соединения .....	230
<b>Часть IV. ЗАДАЧИ ПОВЫШЕННОЙ ТРУДНОСТИ .....</b>	<b>236</b>
Приложение .....	273

# **Издательство «Новая Волна»**

---

**осуществляет уникальную программу  
издания учебных пособий  
для поступающих в вузы**

**Приобретая наши издания,  
вы получаете великолепную возможность  
воспользоваться знаниями и опытом  
самых авторитетных авторов,  
советы которых уже помогли стать  
студентами лучших учебных заведений  
десяткам миллионов абитуриентов**

**Наши издания вы можете приобрести  
в книжных магазинах вашего города**

**По вопросам оптовых закупок и «книги-почтой»  
обращаться в отдел реализации издательства:**

**101000, г. Москва, Главпочтамт, а/я 251**

**тел. (095) 208-38-92**

**тел./факс (095) 207-04-11**

**e-mail: sales@newwave.msk.ru**

**Ознакомиться с новинками издательства,  
прайс-листом и условиями работы,  
а также сделать заказ на книги можно на сайте  
<http://www.newwave.msk.ru>**

# Издательство «Новая Волна» предлагает:

**Хомченко Г. П.**

**«Пособие по химии для поступающих в вузы»**



В пособии освещены все вопросы приемных экзаменов по химии для поступающих в вузы. Для лучшего усвоения курса химии приведены некоторые дополнительные сведения. После каждой главы даются типовые задачи с решениями и задачи для самостоятельной работы.

*Обложка. 480 стр. Формат 84×108<sup>1</sup>/<sub>32</sub>*

**Хомченко Г. П., Хомченко И. Г.**

**«Сборник задач по химии  
для поступающих в вузы»**



Сборник включает задачи по общей, неорганической и органической химии в соответствии с программой по химии для поступающих в вузы. Последний раздел задачника содержит задачи повышенной сложности. В каждом разделе приводятся типовые задачи с решениями.

*Обложка. 288 стр. Формат 84×108<sup>1</sup>/<sub>32</sub>*

# Издательство «Новая Волна» предлагает:

**Моденов В. П.**  
**«Математика.»**

## **Пособие для поступающих в вузы»**

Пособие написано в соответствии с программой по алгебре и геометрии для поступающих в вузы. В каждой главе приведены сведения справочного характера, оригинальные методики решения многих задач, подкрепленные большим количеством разобранных экзаменационных примеров, а также упражнения для самостоятельной работы.

*Переплет. 736 стр. Формат 60×90<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.*



**Павленко Ю. Г.**  
**«Физика.»**

## **Пособие для поступающих в вузы»**

В пособии освещены все вопросы приемных экзаменов по физике. Для лучшего усвоения курса физики приведены некоторые дополнительные сведения. В каждой главе даются типовые задачи с решениями и задачи для самостоятельной работы, охватывающие все разделы программы по физике и отражающие наиболее существенные для каждой темы понятия и законы.

*Переплет. 736 стр. Формат 84×108<sup>1</sup>/<sub>32</sub>.*



# Издательство «Новая Волна» предлагает:

## Морозова Л. А. «Основы государства и права. Пособие для поступающих в вузы»



В учебном пособии раскрываются важнейшие понятия теории государства и права. Освещаются основы гражданского, семейного, трудового, уголовного и других отраслей права с позиций новой, общедемократически ориентированной Конституции РФ 1993 г. В конце книги имеются пояснительные схемы, помогающие успешному усвоению основных тем, и предметный указатель.

*Обложка. 352 стр. Формат 84x 108<sup>1</sup>/<sub>32</sub>*

## Мальшева Л. М. «Пишем сочинение. Практический курс. Пособие для поступающих в вузы»



В пособии рассмотрены не только теоретические вопросы написания сочинений, но и даны практические рекомендации сдающему экзамен. Издание содержит анализ творчества русских классиков XIX—начала XX века и практические советы по освещению любой заданной темы на основе этого материала. Приведены образцы сочинений, при написании которых использованы практические методы, предлагаемые автором.

*Обложка. 384 стр. Формат 84x 108<sup>1</sup>/<sub>32</sub>*

# Издательство «Новая Волна» предлагает:

## Розенталь Д. Э. «Пособие по русскому языку для поступающих в вузы»

Пособие содержит теоретические сведения по русскому языку и разнообразные упражнения по орфографии, пунктуации, лексике и стилистике, грамматическому разбору и предназначено для повторения и закрепления соответствующих навыков, полученных в средней школе.

Обложка. 416 стр. Формат 84×108 1/32



## Кондаков И. В., Шнейберг Л. Я. «Русская литература XX века. Пособие для поступающих в вузы» в 2 кн.

В пособии дан анализ произведений отечественной литературы XX века, ставших событием не только художественной, но и общественной жизни страны, раскрывается идейное содержание, особенности сюжета и композиции, своеобразие образов и стиля произведений выдающихся писателей прошлого века — от Гумилева до Солженицина.

Обложка. 896 стр. Формат 84×108 1/32



# Издательство «Новая Волна» предлагает:

---

**Зуев М. Н.**  
**«История России.**  
**Пособие для поступающих в вузы» т. 1**



В пособии систематизированно излагаются основные факты и события истории России с древнейших времен до наших дней. Изложенный в нем материал соответствует программе вступительных экзаменов в вузы и в то же время содержит много расширяющих кругозор дополнительных сведений. Том первый посвящен событиям российской истории с древнейших времен по конец XIX века.

*Обложка. 448 стр. Формат 84×108<sup>1</sup>/<sub>32</sub>*

**Зуев М. Н.**  
**«История России.**  
**Пособие для поступающих в вузы» т. 2**



Том второй посвящен событиям российской истории с начала XX века по наши дни. В приложении приводятся подробный перечень правителей России, схемы государственного управления в разные периоды и развернутая хронология российской истории.

*Обложка. 608 стр. Формат 84×108<sup>1</sup>/<sub>32</sub>*

# Издательство «Новая Волна» предлагает:

## “Биология. Пособие для поступающих в вузы” т. 1 Под ред. Н. В. Чебышева

Пособие написано в соответствии с программой по биологии для поступающих в вузы. Четкость и доступность изложения, а также большое количество иллюстраций, схем и таблиц делают возможным самостоятельное изучение предлагаемого курса. Первый том включает в себя следующие разделы: “Биология клетки”, “Генетика и онтогенез” и “Зоология”.

*Обложка. 448 стр. Формат 84×108<sup>1</sup>/<sub>32</sub>*



## “Биология. Пособие для поступающих в вузы” т. 2 Под ред. Н. В. Чебышева

Второй том включает в себя следующие разделы: “Ботаника”, “Анатомия и физиология”, “Эволюция и экология”. Пособие написано с учетом современных научных достижений и уровня знаний, необходимого для успешной сдачи вступительных экзаменов в вуз. Особое внимание обращено на органичную связь всех биологических дисциплин.

*Обложка. 416 стр. Формат 84×108<sup>1</sup>/<sub>32</sub>*



# Издательство «Новая Волна» предлагает:

## Хомченко И. Г. “Общая химия. Учебник для техникумов”



В учебнике изложены основные понятия и законы химии, теория строения атома, учение о химической связи, теории растворов и электрохимических процессов. Описаны свойства неорганических соединений. В разделе органической химии рассмотрены теория химического строения органических соединений А.М. Бутлерова и свойства органических соединений отдельных классов.

*Переплет. 464 стр. Формат 84×108<sup>1</sup>/<sub>32</sub>*

## Хомченко И. Г. “Общая химия. Сборник задач и упражнений. Учебное пособие для техникумов”



Учебное пособие состоит из двух частей. Первая часть кроме задач по неорганической химии содержит задачи по общетеоретическим вопросам химии. Во вторую часть включены задачи по органической химии. Каждый параграф пособия начинается введением, в котором разъяснены опорные понятия темы и примеры решения задач.

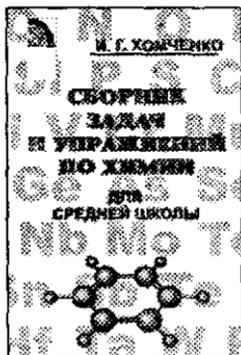
*Обложка. 256 стр. Формат 84×108<sup>1</sup>/<sub>32</sub>*

# Издательство «Новая Волна» предлагает:

## Хомченко И. Г. “Сборник задач и упражнений по химии для средней школы”

Сборник содержит задачи и упражнения по химии, соответствующие школьной программе, утвержденной Министерством образования РФ для общеобразовательных учреждений.

Обложка. 224 стр. Формат 84×108<sup>1</sup>/<sub>32</sub>



## Хомченко И. Г. “Решение задач по химии. 8—11 кл.”

Это методическое пособие является дополнением к книге И. Г. Хомченко “Сборник задач и упражнений по химии для средней школы”. В пособии приведены решения типовых задач из указанного выше сборника, а также задач, вызывающих наибольшие трудности у преподавателей и учащихся.

Обложка. 256 стр. Формат 84×108<sup>1</sup>/<sub>32</sub>



# Издательство «Новая Волна» предлагает:

## “Справочник для поступающих в вузы Москвы и Московской области. 2002 г.”



В справочнике представлена исчерпывающая информация о более чем 300 государственных и негосударственных высших учебных заведениях Москвы и Московской области: адреса, телефоны, проезд, факультеты, специальности, наличие общежитий, военных кафедр, подготовительных отделений, продолжительность обучения и многое другое.

*Обложка. 320 стр. Формат 84х 108<sup>1</sup>/<sub>32</sub>*

## “Все вузы России. Справочник для поступающих в вузы. 2002 г.”



В справочнике представлена исчерпывающая информация о более чем 1500 государственных и негосударственных высших учебных заведениях Российской Федерации: адреса, телефоны, проезд, факультеты, специальности, наличие общежитий, военных кафедр, подготовительных отделений, продолжительность обучения и многое другое.

*Обложка. 640 стр. Формат 84х 108<sup>1</sup>/<sub>32</sub>*