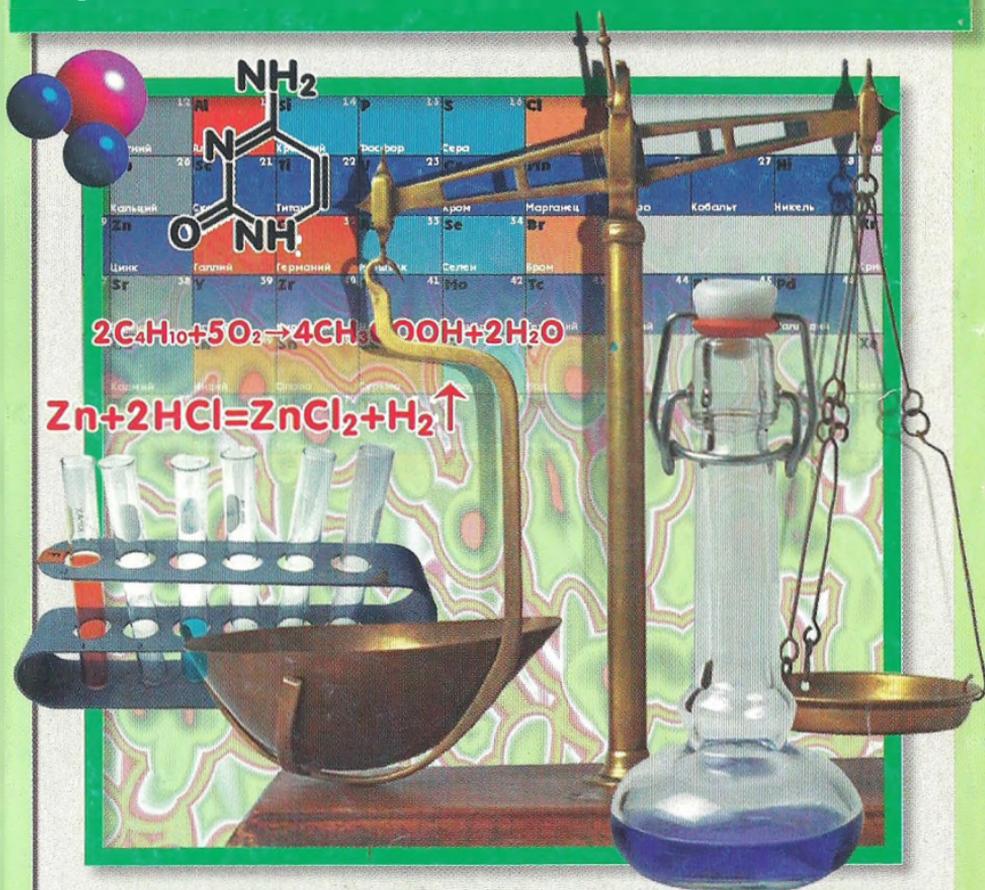


# 700 задач по ХИМИИ

## С ПРИМЕРАМИ РЕШЕНИЙ



## ДЛЯ СТАРШЕКЛАССНИКОВ И АБИТУРИЕНТОВ

Серия «Всё для школы»

*В.И.Резяпкин*

**700 ЗАДАЧ ПО ХИМИИ  
С ПРИМЕРАМИ РЕШЕНИЯ  
ДЛЯ СТАРШЕКЛАССНИКОВ  
И АБИТУРИЕНТОВ**

---

---

Минск  
ООО «Юнипресс»  
2002

УДК 54 (076.1)(075.3)

ББК 24 я721

С27

Рецензенты:

кандидат педагогических наук Е.И.Шарапа,  
учитель О.И.Сечко

Серия основана в 1999 году

Автор-составитель

В. И. Резяпкин

С27 700 задач по химии с примерами решений для стар-  
шекласников и абитуриентов/Авт.-сост. В. И. Резяп-  
кин. — Мн.: ООО «Юнипресс», 2002. — 272 с. — (Серия  
«Всё для школы»).

ISBN 985-474-029-3.

Содержит около 700 задач различной сложности по  
основным темам школьного курса химии. В нем приведены  
примеры решения разных типов задач.

Для учащихся старших классов (9—11) средних школ, гим-  
назий, лицеев и абитуриентов. Рекомендован к использо-  
ванию при самостоятельной подготовке к поступлению в вузы и  
на подготовительных отделениях.

УДК 54 (076.1)(075.3)

ББК 24 я721

ISBN 985-474-029-3

© Резяпкин В. И., 2002  
© ООО «Юнипресс», 2002

## ОТ АВТОРА

При написании данного сборника автор поставил перед собой определенную цель: оказать помощь школьникам, выбравшим в качестве будущей специальности химию или смежные с этой дисциплиной науки.

Каждый из разделов снабжен кратким теоретическим материалом, который в случае необходимости учащиеся могут повторить или проверить свои знания. К наиболее сложным задачам даются их решения.

Задачи расположены в порядке возрастания их сложности, что позволит пользователю с недостаточной исходной подготовкой постепенно освоить решение усложненных задач. В сборнике приведены задачи, которые не предусмотрены школьными программами, но их аналоги часто встречаются в экзаменационных материалах на вступительных экзаменах в вузы.

Автор выражает искреннюю признательность старшему преподавателю кафедры биохимии и биотехнологии Гродненского университета С.Е.Лакоба, заведующей лабораторией естественно-математического образования Национального института образования кандидату педагогических наук Е.И.Шарапа и учителю высшей категории, учителю-методисту, отличнику образования Республики Беларусь О.И.Сечко за огромную работу, проделанную при анализе рукописи, и полезные замечания.

## УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

$\alpha$ — степень диссоциации	$m$ — масса
$\gamma$ — температурный коэффициент скорости реакции	$M$ — молярная масса
$\eta$ — выход продукта реакции	$c$ — молярная концентрация
$\chi$ — молярная доля	$M_r$ — относительная молекулярная масса
$v$ — количество вещества	$N_A$ — постоянная Авогадро
$\rho$ — плотность	$p$ — давление
$\varphi$ — объемная доля	$Q$ — количество теплоты
$\omega$ — массовая доля	$T$ — температура
$A_r$ — относительная атомная масса	$t, ^\circ\text{C}$ — температура по шкале Цельсия
$D$ — относительная плотность	$v$ — скорость реакции
	$V$ — объем
	н.у. — нормальные условия

# ОБЩАЯ ХИМИЯ

## Глава 1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ЗАКОНЫ ХИМИИ

### 1.1. МОЛЯРНАЯ МАССА, КОЛИЧЕСТВО ВЕЩЕСТВА, ПОСТОЯННАЯ АВОГАДРО, МОЛЯРНЫЙ ОБЪЕМ ГАЗА

Молярная масса равна отношению массы вещества к его количеству, т.е.

$$M = m/\nu. \quad (1.1)$$

Количество вещества можно рассчитать, используя постоянную Авогадро, по уравнению

$$\nu = N/N_A, \quad (1.2)$$

где  $N$  — число структурных единиц;  $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$  моль<sup>-1</sup>.

Для газов количество вещества может быть рассчитано по уравнению

$$\nu = V/V_m, \quad (1.3)$$

где  $V_m$  — молярный объем газа, постоянная величина для любого газа, при н.у. (нормальных давлении 101 325 Па ~ 101,3 кПа и температуре 273,15 К ~ 273 К) составляет 22,4 л/моль.

Плотность вещества равна отношению массы вещества к его объему:

$$\rho = m/V. \quad (1.4)$$

**1.1.** Определите количество гидроксида натрия в образце массой 10 г.

**Решение.** Рассчитываем молярную массу гидроксида натрия:

$$M(\text{NaOH}) = M(\text{Na}) + M(\text{O}) + M(\text{H}),$$

где  $M(\text{NaOH})$ ,  $M(\text{Na})$ ,  $M(\text{O})$ ,  $M(\text{H})$  — молярные массы гидроксида натрия, натрия, кислорода, водорода.

Следовательно,

$$M(\text{NaOH}) = 23 + 16 + 1 = 40 \text{ г/моль.}$$

Определяем количество гидроксида в образце по уравнению (1.1):

$$\nu(\text{NaOH}) = m(\text{NaOH})/M(\text{NaOH}),$$

или

$$\nu(\text{NaOH}) = 10/40 = 0,25 \text{ моль.}$$

**1.2.** Определите количество гидрокарбоната кальция в образце массой 16,2 г.

Ответ: 0,10 моль.

**1.3.** Какую массу имеет образец оксида углерода (IV) количеством вещества 0,25 моль?

Ответ: 11 г.

**1.4.** Какую массу имеет образец гидрокосульфата алюминия количеством вещества 0,2 моль?

Ответ: 28 г.

**1.5.** Определите количество атомов водорода в составе образца воды массой 9 г.

**Решение.** Рассчитываем молярную массу воды:

$$M(\text{H}_2\text{O}) = 2M(\text{H}) + M(\text{O}),$$

или

$$M(\text{H}_2\text{O}) = 2 + 16 = 18 \text{ г/моль.}$$

Определяем количество воды по уравнению (1.1):

$$\nu(\text{H}_2\text{O}) = m(\text{H}_2\text{O})/M(\text{H}_2\text{O}),$$

или

$$\nu(\text{H}_2\text{O}) = 9/18 = 0,5 \text{ моль.}$$

Из формулы воды следует, что 1 моль  $\text{H}_2\text{O}$  содержит 2 моль атомов водорода, т.е.

$$\nu(\text{H}) = 2\nu(\text{H}_2\text{O}); \nu(\text{H}) = 2 \cdot 0,5 = 1 \text{ моль.}$$

**1.6.** Определите количество атомов кислорода в составе образца гидроксонитрата алюминия массой 16,8 г.

Ответ: 0,7 моль.

**1.7.** Определите количество атомов водорода в составе образца гидрофосфата аммония массой 26,4 г.

Ответ: 1,8 моль.

**1.8.** Смесь состоит из 46 г этанола ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ) и 72 г воды. Определите количество атомарного кислорода в смеси.

**Решение.** Молярная масса этанола ( $C_2H_5OH$ ) равна 46 г/моль. Определяем количество этанола в смеси по уравнению (1.1):

$$\nu(C_2H_5OH) = m(C_2H_5OH)/M(C_2H_5OH),$$

или

$$\nu(C_2H_5OH) = 46/46 = 1 \text{ моль.}$$

Из формулы этанола следует, что 1 моль  $C_2H_5OH$  содержит 1 моль атомов кислорода, т.е.

$$\nu_1(O) = \nu(C_2H_5OH); \nu_1(O) = 1 \text{ моль.}$$

Вычисляем количество воды по уравнению (1.1):

$$\nu(H_2O) = m(H_2O)/M(H_2O),$$

или

$$\nu(H_2O) = 72/18 = 4 \text{ моль.}$$

Из формулы воды следует, что 1 моль  $H_2O$  содержит 1 моль атомов кислорода, т.е.

$$\nu_2(O) = \nu(H_2O); \nu_2(O) = 4 \text{ моль.}$$

Количество атомарного кислорода в образце будет равно сумме количеств кислорода в составе этанола и воды:

$$\nu(O) = \nu_1(O) + \nu_2(O),$$

или

$$\nu(O) = 1 + 4 = 5 \text{ моль.}$$

**1.9.** Смесь состоит из 6 г уксусной ( $CH_3COOH$ ) и 9,2 г муравьиной ( $HCOOH$ ) кислот. Определите количество атомарного кислорода в смеси.

Ответ: 0,60 моль.

**1.10.** Определите массу образца воды, содержащего  $12,04 \cdot 10^{22}$  молекул воды.

**Решение.** Определяем количество воды по уравнению (1.2):

$$\nu(H_2O) = N(H_2O)/N_A,$$

или

$$\nu(H_2O) = (12,04 \cdot 10^{22})/(6,02 \cdot 10^{23}) = 0,2 \text{ моль.}$$

Определяем массу образца с учетом того, что молярная масса воды равна 18 г/моль:

$$m(H_2O) = \nu(H_2O) \cdot M(H_2O),$$

или

$$m(H_2O) = 0,2 \cdot 18 = 3,6 \text{ г.}$$

1.11. Определите массу образца сульфата меди (II), содержащего  $6,02 \cdot 10^{22}$  атомов меди.

Ответ: 16 г.

1.12. Рассчитайте массу образца сульфата аммония, содержащего  $3,01 \cdot 10^{22}$  атомов водорода.

Решение. Определяем количество атомов водорода по уравнению (1.2):

$$\nu(\text{H}) = N(\text{H})/N_A,$$

или

$$\nu(\text{H}) = (3,01 \cdot 10^{22})/(6,02 \cdot 10^{23}) = 0,05 \text{ моль.}$$

Из формулы сульфата аммония следует, что 1 моль  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  содержит 8 моль атомов водорода, т.е.

$$\nu((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4) = 1/8 \nu(\text{H});$$

$$\nu((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4) = 0,05/8 = 0,00625 \text{ моль.}$$

Вычисляем массу образца, учитывая, что молярная масса сульфата аммония равна 132 г/моль:

$$m((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4) = \nu((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4) \cdot M((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4),$$

или

$$m((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4) = 0,00625 \cdot 132 = 0,825 \text{ г.}$$

1.13. Определите массу образца гидросульфата магния, если известно, что в его составе содержится  $3,612 \cdot 10^{23}$  атомов кислорода.

Ответ: 16,35 г.

1.14. Определите массу раствора сульфата натрия в воде, содержащего  $30,10 \cdot 10^{22}$  атомов натрия и  $6,02 \cdot 10^{24}$  атомов водорода.

Решение. Определяем количество атомов натрия по уравнению (1.2):

$$\nu(\text{Na}) = N(\text{Na})/N_A,$$

или

$$\nu(\text{Na}) = (30,10 \cdot 10^{22})/(6,02 \cdot 10^{23}) = 0,5 \text{ моль.}$$

Из формулы сульфата натрия следует, что 1 моль  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  содержит 2 моль атомов натрия, т.е.

$$\nu(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 1/2 \nu(\text{Na});$$

$$\nu(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 0,5/2 = 0,25 \text{ моль.}$$

Рассчитываем массу сульфата натрия, учитывая, что молярная масса  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  равна 142 г/моль:

$$m(\text{Na}_2\text{SO}_4) = \nu(\text{Na}_2\text{SO}_4) \cdot M(\text{Na}_2\text{SO}_4),$$

или

$$m(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 0,25 \cdot 142 = 35,5 \text{ г.}$$

Определяем количество атомов водорода по уравнению (1.2):

$$\nu(\text{H}) = N(\text{H})/N_A;$$

$$\nu(\text{H}) = (6,02 \cdot 10^{24}) / (6,02 \cdot 10^{23}) = 10 \text{ моль.}$$

Из формулы воды следует, что 1 моль  $\text{H}_2\text{O}$  содержит 2 моль атомов водорода, т.е.

$$\nu(\text{H}_2\text{O}) = 1/2 \nu(\text{H}); \nu(\text{H}_2\text{O}) = 10/2 = 5 \text{ моль.}$$

Находим массу воды в растворе:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = \nu(\text{H}_2\text{O}) \cdot M(\text{H}_2\text{O}),$$

или

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 5 \cdot 18 = 90 \text{ г.}$$

Масса раствора равна сумме масс воды и сульфата натрия:

$$m(\text{р-ра}) = m(\text{H}_2\text{O}) + m(\text{Na}_2\text{SO}_4);$$

$$m(\text{р-ра}) = 90 + 35,5 = 125,5 \text{ г.}$$

**1.15.** Определите массу раствора этанола ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ) в воде, содержащего  $12,04 \cdot 10^{22}$  атомов углерода и  $24,08 \cdot 10^{22}$  атомов кислорода.

Ответ: 10 г.

## 1.2. ЗАКОН АВОГАДРО, МОЛЯРНЫЙ ОБЪЕМ

**1.16.** Определите массу 11,2 л водорода при нормальных условиях.

**Решение.** Определяем количество водорода по уравнению (1.3):

$$\nu(\text{H}_2) = V(\text{H}_2)/22,4 \text{ л/моль};$$

$$\nu(\text{H}_2) = 11,2/22,4 = 0,5 \text{ моль.}$$

Вычисляем массу водорода:

$$m(\text{H}_2) = \nu(\text{H}_2) \cdot M(\text{H}_2); m(\text{H}_2) = 0,5 \cdot 2 = 1 \text{ г.}$$

**1.17.** Какой объем (н.у.) занимает оксид углерода (II) массой 5,6 г?

Ответ: 4,48 л.

**1.18.** Определите плотность оксида серы (IV) при н.у.

**Решение.** Выбираем образец оксида серы количеством вещества 1 моль.

Тогда его объем при н.у. будет равен:

$$V(\text{SO}_2) = \nu(\text{SO}_2) \cdot 22,4 \text{ л/моль},$$

или

$$V(\text{SO}_2) = 1 \cdot 22,4 = 22,4 \text{ л}.$$

Вычисляем массу образца:

$$m(\text{SO}_2) = \nu(\text{SO}_2) \cdot M(\text{SO}_2),$$

или

$$m(\text{SO}_2) = 1 \cdot 64 = 64 \text{ г}.$$

Определяем плотность оксида при н.у. по уравнению (1.4):

$$\rho(\text{SO}_2) = m(\text{SO}_2)/V(\text{SO}_2);$$

$$\rho(\text{SO}_2) = 64/22,4 = 2,86 \text{ г/л}.$$

**1.19.** Определите молярную массу газа, если известно, что его образец массой 3,2 г занимает при н.у. 4,48 л.

**Решение.** Вычисляем количество газа:

$$\nu(\text{г}) = V(\text{г})/22,4 \text{ л/моль};$$

$$\nu(\text{г}) = 4,48/22,4 = 0,2 \text{ моль}.$$

Определяем молярную массу газа:

$$M(\text{г}) = m(\text{г})/\nu(\text{г}); M(\text{г}) = 3,2/0,2 = 16 \text{ г/моль}.$$

**1.20.** Определите молярную массу газовой смеси, состоящей из 3 г водорода и 16 г кислорода.

**Решение.** Определяем количества водорода и кислорода в смеси:

$$\nu(\text{H}_2) = m(\text{H}_2)/M(\text{H}_2); \nu(\text{H}_2) = 3/2 = 1,5 \text{ моль};$$

$$\nu(\text{O}_2) = m(\text{O}_2)/M(\text{O}_2); \nu(\text{O}_2) = 16/32 = 0,5 \text{ моль}.$$

Количество газовой смеси равно сумме количеств водорода и кислорода:

$$\nu(\text{смеси}) = \nu(\text{H}_2) + \nu(\text{O}_2);$$

$$\nu(\text{смеси}) = 1,5 + 0,5 = 2 \text{ моль}.$$

Масса газовой смеси равна сумме масс водорода и кислорода:

$$m(\text{смеси}) = m(\text{H}_2) + m(\text{O}_2) = 3 + 16 = 19 \text{ г}.$$

Рассчитываем молярную массу газовой смеси как отношение массы смеси к количеству вещества смеси:

$$M(\text{смесь}) = m(\text{смеси})/v(\text{смеси});$$

$$M(\text{смесь}) = 19/2 = 9,5 \text{ г/моль.}$$

1.21. Определите молярную массу газовой смеси, состоящей из 2,24 л азота и 4,48 л водорода (н.у.).

Ответ: 10,67 г/моль.

1.22. Химический элемент (X), проявляющий в соединении с водородом валентность, равную 3, образует с ним газообразное соединение. Определите химический элемент, если известно, что образец этого газа массой 6,8 г занимает при н.у. объем, равный 4,48 л.

Решение. Поскольку валентность элемента X равна трем, формула водородного соединения X будет иметь вид:  $\text{XH}_3$ . Рассчитываем количество водородного соединения  $\text{XH}_3$ :

$$v(\text{XH}_3) = V(\text{XH}_3)/22,4 \text{ моль};$$

$$v(\text{XH}_3) = 4,48/22,4 = 0,2 \text{ моль.}$$

Определяем молярную массу водородного соединения  $\text{XH}_3$ :

$$M(\text{XH}_3) = m(\text{XH}_3)/v(\text{XH}_3);$$

$$M(\text{XH}_3) = 6,8/0,2 = 34 \text{ г/моль.}$$

Выразим молярную массу соединения  $\text{XH}_3$ :

$$M(\text{XH}_3) = M(\text{X}) + 3M(\text{H}).$$

Тогда

$$M(\text{X}) = M(\text{XH}_3) - 3M(\text{H});$$

$$M(\text{X}) = 34 - 3 = 31 \text{ г/моль.}$$

По таблице Д.И.Менделеева определяем, что химическим элементом с молярной массой, равной 31 г/моль, является фосфор.

1.23. Газообразное соединение (HX) занимает объем, равный 6,72 л (н.у.). Его масса равна 6 г. Определите X.

Ответ: F.

1.24. Молярная масса газовой смеси, состоящей из аргона и гелия, равна 13 г/моль. Определите массу гелия в смеси объемом 11,2 л (н.у.).

**Решение.** Вычисляем количество газовой смеси:

$$v(\Gamma) = V(\Gamma)/22,4 \text{ л/моль};$$

$$v(\Gamma) = 11,2/22,4 = 0,5 \text{ моль.}$$

Рассчитываем массу газовой смеси:

$$m(\Gamma) = v(\Gamma) \cdot M(\Gamma); m(\Gamma) = 0,5 \cdot 13 = 6,5 \text{ г.}$$

Масса аргона равна разнице масс газовой смеси и гелия:

$$m(\text{Ar}) = m(\Gamma) - m(\text{He}); m(\text{Ar}) = 6,5 - m(\text{He}).$$

Выразим количества веществ гелия и аргона:

$$v(\text{He}) = m(\text{He})/M(\text{He}); v(\text{He}) = m(\text{He})/4;$$

$$v(\text{Ar}) = m(\text{Ar})/M(\text{Ar}); v(\text{Ar}) = (6,5 - m(\text{He}))/40.$$

Известно, что количество газовой смеси равно 0,5 моль:

$$v(\text{He}) + v(\text{Ar}) = 0,5 \text{ моль.}$$

Подставляем в последнее уравнение значения количеств гелия и аргона:

$$m(\text{He})/4 + (6,5 - m(\text{He}))/40 = 0,5$$

и решаем уравнение

$$m(\text{He}) = 1,5 \text{ г.}$$

**1.25.** Газовая смесь, состоящая из фтора и гелия, имеет молярную массу 21 г/моль. Определите объем гелия при н.у. в смеси массой 4,2 г.

Ответ: 2,24 л.

**1.26.** Определите массу 6 л (н.у.) газовой смеси, состоящей из азота и кислорода. Известно, что объем азота в смеси в 4 раза больше объема кислорода.

Ответ: 7,7 г.

**1.27.** Определите объем газовой смеси (н.у.), состоящей из аммиака и азота, массой 6,2 г. Известно, что

$$m(\text{NH}_3) : m(\text{N}_2) = 1,21 : 1,00.$$

Ответ: 6,72 л.

**1.28.** Какой из перечисленных газов является самым легким: аммиак, фтор, фтороводород, кислород?

**Решение.** Для расчетов выбираем образцы каждого газа количеством 1 моль.

Тогда их массы будут равны:

$$m(\text{NH}_3) = 17 \cdot 1 = 17 \text{ г}; m(\text{F}_2) = 38 \cdot 1 = 38 \text{ г};$$

$$m(\text{HF}) = 20 \cdot 1 = 20 \text{ г}; m(\text{O}_2) = 32 \cdot 1 = 32 \text{ г}.$$

Объем 1 моль газа при н.у. равен:

$$V = 1 \text{ моль} \cdot 22,4 \text{ л/моль} = 22,4 \text{ л}.$$

Определяем плотность газов при н.у. по уравнению (1.4):

$$\rho(\text{NH}_3) = 17 : 22,4 = 0,76 \text{ г/л};$$

$$\rho(\text{F}_2) = 38 : 22,4 = 1,70 \text{ г/л};$$

$$\rho(\text{HF}) = 20 : 22,4 = 0,89 \text{ г/л};$$

$$\rho(\text{O}_2) = 32 : 22,4 = 1,43 \text{ г/л}.$$

Самую низкую плотность из рассмотренных газов имеет аммиак.

Следовательно, он будет самым легким.

**1.29.** Какой из перечисленных газов является самым тяжелым: водород, хлор, азот, хлороводород?

Ответ:  $\text{Cl}_2$ .

**1.30.** Какой объем занимают при н.у.  $6,02 \cdot 10^{22}$  молекул оксида углерода (IV)?

Ответ: 2,24 л.

### 1.3. ОБЪЕДИНЕННЫЙ ГАЗОВЫЙ ЗАКОН

Объединенный газовый закон Бойля — Мариотта и Гей — Люссака отражает зависимость между объемом газа, давлением и температурой:

$$V_0 P_0 / T_0 = V P / T, \quad (1.5)$$

где  $V$  — объем газа при данных температуре  $T$  и давлении  $P$ ;  $V_0$  — объем газа при нормальном давлении  $P_0$  (101,3 кПа, или 760 мм рт.ст. или 1 атм.) и нормальной температуре  $T_0$  (273 К).

**1.31.** Определите массу 5,6 л аргона при давлении 202,6 кПа и температуре 27 °С.

**Решение.** Определяем объем аргона при н.у., используя для расчетов уравнение (1.5) и учитывая, что  $T = 273 + 27 = 300 \text{ К}$ :

$$V_0(\text{Ar}) = PVT_0 / P_0 T;$$

$$V_0(\text{Ar}) = (202,6 \cdot 5,6 \cdot 273) / (300 \cdot 101,3) = 10,2 \text{ л}.$$

Количество аргона будет равно:

$$v(\text{Ar}) = V(\text{Ar})/22,4 \text{ л/моль};$$

$$v(\text{Ar}) = 10,2/22,4 = 0,455 \text{ моль}.$$

Рассчитываем массу аргона:

$$m(\text{Ar}) = v(\text{Ar}) \cdot M(\text{Ar});$$

$$m(\text{Ar}) = 0,455 \cdot 40 = 18,2 \text{ г}.$$

**1.32.** Какой объем займет азот массой 56 г при давлении 50,65 кПа и температуре 250 К?

Ответ: 82 л.

**1.33.** Определите плотность воздуха при давлении 2 атм. и температуре 300 К.

**Решение.** Для расчетов выберем образец воздуха количеством вещества 1 моль. Молярная масса воздуха равна 29 г/моль.

Тогда масса образца будет равна:

$$m(\text{воздух}) = v(\text{воздух}) \cdot M(\text{воздух});$$

$$m(\text{воздух}) = 1 \cdot 29 = 29 \text{ г}.$$

Объем воздуха при н.у. будет равен:

$$V_0(\text{воздух}) = v(\text{воздух}) \cdot 22,4 \text{ л/моль};$$

$$V_0(\text{воздух}) = 1 \cdot 22,4 = 22,4 \text{ л}.$$

Определяем объем воздуха при заданных условиях, используя уравнение (1.5):

$$V(\text{воздух}) = P_0 V_0 T / P T_0;$$

$$V(\text{воздух}) = (1 \cdot 22,4 \cdot 300) / (2 \cdot 273) = 12,3 \text{ л}.$$

Рассчитываем плотность воздуха при заданных условиях по уравнению (1.4):

$$\rho(\text{воздух}) = m(\text{воздух})/V(\text{воздух});$$

$$\rho(\text{воздух}) = 29/12,3 = 2,36 \text{ г/л}.$$

**1.34.** Определите молярную массу газа, если известно, что 1 г газа занимает объем 11,2 л при давлении 1520 мм рт. ст. и температуре 546 К.

Ответ: 2 г/моль.

**1.35.** Газ состава  $\text{XO}_2$  массой 23 г занимает объем, равный 5,6 л, при 0 °С и давлении 202,6 кПа. Определите элемент X.

**Решение.** Определяем объем газа при н.у., используя уравнение (1.5) и учитывая, что  $T = (273 + 0) \text{ К} = 273 \text{ К}$ :

$$V_0(\text{XO}_2) = PVT_0/P_0T;$$

$$V_0(\text{XO}_2) = (202,6 \cdot 5,6 \cdot 273)/(101,3 \cdot 273) = 11,2 \text{ л.}$$

Количество вещества газа будет равно:

$$\nu(\text{XO}_2) = V/22,4 \text{ л/моль};$$

$$\nu(\text{XO}_2) = 11,2/22,4 = 0,5 \text{ моль.}$$

Вычисляем молярную массу газа:

$$M(\text{XO}_2) = m(\text{XO}_2)/\nu(\text{XO}_2);$$

$$M(\text{XO}_2) = 23/0,5 = 46 \text{ г/моль.}$$

С учетом того, что

$$M(\text{XO}_2) = M(\text{X}) + 2M(\text{O}),$$

определяем молярную массу элемента X:

$$M(\text{X}) = M(\text{XO}_2) - 2M(\text{O});$$

$$M(\text{X}) = 46 - 32 = 14 \text{ г/моль.}$$

По таблице Д.И.Менделеева определяем, что элементом с молярной массой, равной 14 г/моль, является азот.

**1.36.** Определите массу 35,84 л смеси газов при давлении 0,5 атм. и температуре 273 °С, состоящей из азота и гелия. Известно, что объем гелия составляет 1/4 объема смеси.

Ответ: 8,8 г.

**1.37.** Определите давление в сосуде объемом 10 л, содержащем 9 г воды при температуре 227 °С (ответ дайте в атмосферах).

**Решение.** Определяем количество воды:

$$\nu(\text{H}_2\text{O}) = m(\text{H}_2\text{O})/M(\text{H}_2\text{O}); \nu(\text{H}_2\text{O}) = 9/18 = 0,5 \text{ моль.}$$

Объем паров воды при н.у. будет равен:

$$V(\text{H}_2\text{O}) = \nu(\text{H}_2\text{O}) \cdot 22,4 \text{ л/моль};$$

$$V(\text{H}_2\text{O}) = 0,5 \cdot 22,4 = 11,2 \text{ л.}$$

Рассчитываем давление в сосуде, используя формулу (1.5) и учитывая, что  $T = (273 + 227) \text{ К} = 500 \text{ К}$ :

$$P = P_0 V_0 T / T_0 V;$$

$$P = (1 \cdot 11,2 \cdot 500) / (273 \cdot 10) = 2,05 \text{ атм.}$$

**1.38.** Определите температуру в сосуде объемом 5,6 л, содержащем 4 г  $O_2$ , при давлении 1140 мм рт. ст. (ответ дайте в градусах Цельсия).

Ответ: 546 °С.

**1.39.** Во сколько раз уменьшится давление в сосуде объемом 11,2 л, содержащем 0,5 моль азота и 0,5 моль воды при температуре 273 °С, после охлаждения содержимого сосуда до 0 °С?

**Решение.** При температуре 273 °С вода будет находиться в газообразном состоянии, значит, количество газа в сосуде будет равно сумме количеств азота и воды:

$$v(\Gamma) = v(N_2) + v(H_2O); v(\Gamma) = 0,5 + 0,5 = 1 \text{ моль.}$$

Объем газа при н.у. равен:

$$V_0 = v(\Gamma) \cdot 22,4 \text{ л/моль}; V_0 = 1 \cdot 22,4 = 22,4 \text{ л.}$$

Рассчитываем давление в сосуде при исходных условиях, приняв во внимание, что  $T_1 = (273 + 273) \text{ К} = 546 \text{ К}; P_0 = 1 \text{ атм.}$

$$P_1 = P_0 V_0 T_1 / V T_0;$$

$$P_1(\Gamma) = (1 \cdot 22,4 \cdot 546) / (11,2 \cdot 273) = 4 \text{ атм.}$$

Поскольку при охлаждении до 0 °С вода будет находиться в жидком состоянии, ее объемом можно пренебречь. Тогда количество газа в сосуде будет равно количеству азота:

$$v(\Gamma) = v(N_2); v(N_2) = 0,5 \text{ моль.}$$

Объем азота при н.у. составит:

$$V_0(N_2) = v(N_2) \cdot 22,4 \text{ л/моль};$$

$$V_0(N_2) = 0,5 \cdot 22,4 = 11,2 \text{ л.}$$

Определяем давление в сосуде после охлаждения с учетом того, что  $T_2 = (0 + 273) \text{ К} = 273 \text{ К.}$

$$P_2 = P_0 V_0 T_2 / V T_0;$$

$$P_2 = (1 \cdot 11,2 \cdot 273) / (11,2 \cdot 273) = 1 \text{ атм.}$$

Рассчитываем, во сколько раз уменьшится давление:

$$P_1 / P_2 = 4/1 = 4.$$

Таким образом, давление уменьшится в 4 раза.

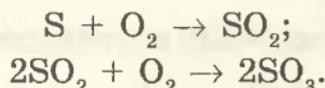
**1.40.** В сосуде объемом 4,48 л при температуре 227 °С содержится  $6,02 \cdot 10^{22}$  молекул газа. Определите давление газа внутри сосуда (ответ дайте в атмосферах).

Ответ: 0,92 атм.

#### 1.4. ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ МАССЫ ВЕЩЕСТВ

**1.41.** Определите массу продуктов реакции, если известно, что в реакцию вступило 16 г серы и 20 г кислорода.

**Решение.** Записываем уравнения реакций:



Таким образом, при взаимодействии серы и кислорода могут образоваться как  $SO_2$ , так и  $SO_3$  или их смесь.

В условии задачи сказано, что в реакцию вступило 16 г серы и 20 г кислорода. Следовательно, согласно закону сохранения массы масса продуктов реакции будет равна массе исходных веществ:

$$\begin{aligned} m(\text{продуктов реакции}) &= m(S) + m(O_2); \\ m(\text{продуктов реакции}) &= 16 + 20 = 36 \text{ г.} \end{aligned}$$

**1.42.** Определите массу продуктов реакции, если известно, что в реакцию вступило 6 г углерода и 12 г кислорода.

Ответ: 18 г.

**1.43.** При взаимодействии 5,6 г железа с серой образовалось 10 г сульфида железа. Определите массу серы, вступившей в реакцию.

Ответ: 4,4 г.

**1.44.** При сплавлении натрия массой 46 г с серой получили смесь персульфидов массой 98 г. Определите массу серы, вступившей в реакцию.

Ответ: 52 г.

1.45. Образец мела массой 10 г прокалили. В результате прокаливания выделился оксид углерода (IV) объемом 1,12 л. Определите массу остатка.

Ответ: 7,8 г.

## Глава 2. КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ РАСЧЕТЫ СОСТАВА СМЕСИ

### 2.1. МАССОВАЯ ДОЛЯ

*Массовая доля вещества* — это отношение массы вещества в системе к массе всей системы.

Массовая доля вещества может быть выражена в долях от единицы или в процентах:

$$\omega(\text{в-ва}) = m(\text{в-ва})/m(\text{системы}); \quad (2.1)$$

$$\omega(\text{в-ва}) = (m(\text{в-ва})/m(\text{системы})) \cdot 100 \%. \quad (2.2)$$

2.1. Определите массовую долю примесей (в процентах) в составе технического образца хлорида алюминия, содержащего 18 г хлорида алюминия и 2 г примесей.

**Решение.** Масса образца равна сумме масс хлорида алюминия и примесей:

$$m(\text{образца}) = m(\text{AlCl}_3) + m(\text{примеси});$$

$$m(\text{образца}) = 18 + 2 = 20 \text{ г.}$$

Рассчитываем массовую долю примесей по уравнению (2.2):

$$\omega(\text{примесь}) = \frac{m(\text{примеси})}{m(\text{образца})} \cdot 100 \%;$$

$$\omega(\text{примесь}) = \frac{2}{20} \cdot 100 \% = 10 \%.$$

2.2. Определите массовую долю хлорида калия (в процентах) в образце, состоящем из KCl и NaCl, соотношение количеств которых равно 1 : 4.

**Решение.** Для расчетов примем образец смеси количеством вещества 1 моль.

Рассчитываем количества хлоридов калия и натрия в образце, учитывая, что  $\nu(\text{KCl}) : \nu(\text{NaCl}) = 1 : 4$ :

$$\nu(\text{KCl}) = \frac{1}{5} \nu(\text{образца}); \nu(\text{KCl}) = \frac{1}{5} \cdot 1 = 0,2 \text{ моль};$$

$$\nu(\text{NaCl}) = \frac{4}{5} \nu(\text{образца}); \nu(\text{NaCl}) = \frac{4}{5} \cdot 1 = 0,8 \text{ моль}.$$

Определяем массы хлоридов в образце:

$$m(\text{KCl}) = \nu(\text{KCl}) \cdot M(\text{KCl});$$

$$m(\text{KCl}) = 0,2 \cdot 74,5 = 14,9 \text{ г};$$

$$m(\text{NaCl}) = \nu(\text{NaCl}) \cdot M(\text{NaCl});$$

$$m(\text{NaCl}) = 0,8 \cdot 58,5 = 46,8 \text{ г}.$$

Вычисляем массу образца:

$$m(\text{образец}) = m(\text{KCl}) + m(\text{NaCl});$$

$$m(\text{образец}) = 14,9 + 46,8 = 61,7 \text{ г}.$$

Находим массовую долю хлорида калия:

$$\omega(\text{KCl}) = \frac{m(\text{KCl})}{m(\text{образца})} \cdot 100 \%;$$

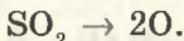
$$\omega(\text{KCl}) = \frac{14,9}{61,7} \cdot 100 \% = 24 \%.$$

**2.3.** Определите массовую долю кислорода (в процентах) в составе оксида серы (IV).

**Решение.** Для расчетов выбираем образец оксида серы количеством вещества 1 моль. Определяем массу образца:

$$m(\text{SO}_2) = \nu(\text{SO}_2) \cdot M(\text{SO}_2); m(\text{SO}_2) = 1 \cdot 64 = 64 \text{ г}.$$

Составляем схему:



Из схемы следует, что в составе 1 моль оксида серы содержится 2 моль атомов кислорода. Рассчитываем массу атомов кислорода в образце, если его количество равно 2 моль:

$$m(\text{O}) = \nu(\text{O}) \cdot M(\text{O}); m(\text{O}) = 2 \cdot 16 = 32 \text{ г}.$$

Находим массовую долю кислорода в составе оксида серы:

$$\omega(\text{O}) = \frac{m(\text{O})}{m(\text{SO}_2)} \cdot 100 \%;$$

$$\omega(\text{O}) = \frac{32}{64} \cdot 100 \% = 50 \%.$$

2.4. Определите массовую долю кристаллизационной воды (в процентах) в составе кристаллогидрата  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ .

Ответ: 36 %.

2.5. Массовая доля кристаллизационной воды в составе кристаллогидрата  $\text{FeSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$  равна 0,4532. Определите формулу кристаллогидрата.

Решение. Для расчетов выбираем образец кристаллогидрата массой 100 г.

Определяем массу кристаллизационной воды в образце:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = \omega(\text{H}_2\text{O}) \cdot m(\text{образец});$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 0,4532 \cdot 100 = 45,32 \text{ г.}$$

Масса  $\text{FeSO}_4$  в образце равна разнице масс кристаллогидрата и воды:

$$m(\text{FeSO}_4) = m(\text{образец}) - m(\text{H}_2\text{O});$$

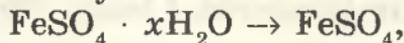
$$m(\text{FeSO}_4) = 100 - 45,32 = 54,68 \text{ г.}$$

Определяем количество  $\text{FeSO}_4$  в образце:

$$\nu(\text{FeSO}_4) = m(\text{FeSO}_4) : M(\text{FeSO}_4);$$

$$\nu(\text{FeSO}_4) = 54,68 : 152 = 0,36 \text{ моль.}$$

Составляем схему:



из которой следует, что

$$\nu(\text{FeSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}) = \nu(\text{FeSO}_4).$$

Следовательно,

$$\nu(\text{FeSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}) = 0,36 \text{ моль.}$$

Определяем молярную массу кристаллогидрата:

$$M(\text{FeSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}) = m(\text{FeSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}) : \nu(\text{FeSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O});$$

$$M(\text{FeSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}) = 100 : 0,36 = 278 \text{ г/моль.}$$

Выразив молярную массу кристаллогидрата

$M(\text{FeSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}) = M(\text{FeSO}_4) + xM(\text{H}_2\text{O})$ ,  
рассчитаем  $x$ :

$$x = (M(\text{FeSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}) - M(\text{FeSO}_4)) / M(\text{H}_2\text{O});$$

$$x = (278 - 152) / 18 = 7.$$

Следовательно, формула кристаллогидрата будет иметь вид  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ .

**2.6.** Массовая доля кристаллизационной воды в составе кристаллогидрата  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$  равна 0,5590. Определите формулу кристаллогидрата.

Ответ:  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ .

**2.7.** Определите массовую долю (в процентах) кислорода в образце мела, содержащего 90 %  $\text{CaCO}_3$  и кислороднесодержащие примеси.

Ответ: 43,2 %.

**2.8.** Определите массу технического образца сульфата натрия, если известно, что образец содержит 9,2 г натрия и 5 % натрийнесодержащих примесей.

Ответ: 29,9 г.

**2.9.** Определите массовую долю (в процентах) кислорода в смеси, содержащей 23 г этанола ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ) и 16 г метанола ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ).

Ответ: 41 %.

**2.10.** Определите массовую долю (в процентах) атомарного хлора в смеси, состоящей из 1,12 л  $\text{Cl}_2$ , 11,2 л (н.у.)  $\text{H}_2$  и 2,24 л  $\text{HCl}$  (н.у.).

**Решение.** Определяем количества газов в смеси:

$$v(\text{Cl}_2) = V(\text{Cl}_2) / 22,4 \text{ л/моль};$$

$$v(\text{Cl}_2) = 1,12 / 22,4 = 0,05 \text{ моль};$$

$$v(\text{H}_2) = V(\text{H}_2) / 22,4 \text{ л/моль};$$

$$v(\text{H}_2) = 11,2 / 22,4 = 0,5 \text{ моль};$$

$$v(\text{HCl}) = V(\text{HCl}) / 22,4 \text{ л/моль};$$

$$v(\text{HCl}) = 2,24 / 22,4 = 0,1 \text{ моль}.$$

Рассчитываем массы газов в смеси:

$$m(\text{Cl}_2) = v(\text{Cl}_2) \cdot M(\text{Cl}_2); m(\text{Cl}_2) = 0,05 \cdot 71 = 3,55 \text{ г};$$

$$m(\text{H}_2) = v(\text{H}_2) \cdot M(\text{H}_2); m(\text{H}_2) = 0,5 \cdot 2 = 1 \text{ г};$$

$$m(\text{HCl}) = \nu(\text{HCl}) \cdot M(\text{HCl}); m(\text{HCl}) = 0,1 \cdot 36,5 = 3,65 \text{ г}$$

Масса смеси равна сумме масс газов:

$$m(\text{смесь}) = m(\text{Cl}_2) + m(\text{H}_2) + m(\text{HCl});$$

$$m(\text{смесь}) = 3,55 + 1 + 3,65 = 8,2 \text{ г.}$$

Определяем количество атомарного хлора в составе газообразного хлора, учитывая, что в состав 1 моль молекулярного хлора входит 2 моль атомов хлора.

Следовательно,

$$\nu_1(\text{Cl}) = 2(\text{Cl}_2); \nu_1(\text{Cl}) = 2 \cdot 0,05 = 0,1 \text{ моль.}$$

Далее определяем количество атомарного хлора в составе хлороводорода, принимая во внимание, что 1 моль HCl содержит 1 моль атомов хлора.

Следовательно,

$$\nu_2(\text{Cl}) = \nu(\text{HCl}); \nu_2(\text{Cl}) = 0,1 \text{ моль.}$$

Находим общее количество атомарного хлора в смеси:

$$\nu(\text{Cl}) = \nu_1(\text{Cl}) + \nu_2(\text{Cl}); \nu(\text{Cl}) = 0,1 + 0,1 = 0,2 \text{ моль.}$$

Вычисляем его массу:

$$m(\text{Cl}) = \nu(\text{Cl}) \cdot M(\text{Cl}); m(\text{Cl}) = 0,2 \cdot 35,5 = 7,1 \text{ г.}$$

Рассчитываем массовую долю атомарного хлора в смеси:

$$\omega(\text{Cl}) = (m(\text{Cl})/m(\text{смеси})) \cdot 100 \% ;$$

$$\omega(\text{Cl}) = (7,1/8,2) \cdot 100 \% = 87 \% .$$

**2.11.** Определите массу 1,12 л газовой смеси (н.у.), состоящей из водорода и гелия. Массовые доли  $\text{H}_2$  и He равны 0,5.

**Решение.** Определяем количество газовой смеси:

$$\nu(\text{г}) = V(\text{г})/22,4 \text{ л/моль}; \nu(\text{г}) = 1,12/22,4 = 0,05 \text{ моль.}$$

Выразим массы водорода и гелия, приняв во внимание, что их массовые доли равны 0,5:

$$m(\text{H}_2) = \omega(\text{H}_2) \cdot m(\text{г}); m(\text{H}_2) = 0,5 \cdot m(\text{г});$$

$$m(\text{He}) = \omega(\text{He}) \cdot m(\text{г}); m(\text{He}) = 0,5 \cdot m(\text{г}).$$

Выразим количество водорода и гелия в составе смеси:

$$\nu(\text{H}_2) = m(\text{H}_2)/M(\text{H}_2); \nu(\text{H}_2) = 0,5m(\text{г});$$

$$v(\text{He}) = m(\text{He})/M(\text{H}_2); v(\text{He}) = 0,5 m(\text{r})/4.$$

Нами определено, что количество газовой смеси равно 0,05 моль, т.е.

$$v(\text{H}_2) + v(\text{He}) = 0,05 \text{ моль.}$$

В последнее уравнение подставим значения количества водорода и гелия:

$$0,5 m(\text{r})/2 + 0,5 m(\text{r})/4 = 0,05.$$

Решаем уравнение:

$$m(\text{r}) = 0,133 \text{ г.}$$

**2.12.** Определите массу 2,24 л газовой смеси (н.у.), состоящей из оксида углерода (II) и оксида углерода (IV). Массовая доля оксида углерода (IV) равна 0,6.

Ответ: 3,58 г.

**2.13.** Определите массовую долю азота (в процентах) в составе газовой смеси, содержащей азот и водород, если известно, что 2,24 л смеси (н.у.) имеют массу 1 г.

Ответ: 86 %.

**2.14.** Определите массовую долю гелия (в процентах) в составе газовой смеси, содержащей гелий и аргон, если известно, что 4,48 л смеси (н.у.) имеют массу 4,4 г.

Ответ: 9,1 %.

**2.15.** Какую массу хлороводорода надо взять для приготовления 80 мл раствора соляной кислоты с массовой долей хлороводорода 0,2. Плотность раствора равна 1,1 г/мл.

Ответ: 17,6 г.

**2.16.** Установите формулу соединения, массовые доли хлора и кислорода в котором соответственно равны 38,8 и 61,2 %.

**Решение.** Для расчетов возьмем образец соединения массой 100 г. Рассчитываем массы хлора и кислорода в образце:

$$m(\text{Cl}) = (\omega(\text{Cl}) \cdot m(\text{соединения}))/100 \%;$$

$$m(\text{Cl}) = (38,8 \cdot 100)/100 = 38,8 \text{ г.}$$

$$m(\text{O}) = (\omega(\text{O}) \cdot m(\text{соединения}))/100 \%;$$

$$m(\text{O}) = (61,2 \cdot 100)/100 = 61,2 \text{ г.}$$

Определяем их количества:

$$v(\text{Cl}) = m(\text{Cl})/M(\text{Cl}); v(\text{Cl}) = 38,8/35,5 = 1,09 \text{ моль};$$

$$v(\text{O}) = m(\text{O})/M(\text{O}); v(\text{O}) 61,2/16 = 3,83 \text{ моль}.$$

Находим соотношение количеств хлора и кислорода:

$$v(\text{Cl}) : v(\text{O}) = 1,09 : 3,83,$$

или

$$v(\text{Cl}) : v(\text{O}) = 2 : 7.$$

Следовательно, формула соединения имеет вид:  $\text{Cl}_2\text{O}_7$ .

**2.17.** Установите формулу соединения, массовые доли серы и кислорода в котором соответственно равны 40 и 60 %.

Ответ:  $\text{SO}_3$ .

## 2.2. ОБЪЕМНАЯ ДОЛЯ

*Объемная доля вещества* — это отношение объема вещества в системе к объему всей системы.

Объемная доля вещества может быть выражена в долях от единицы или в процентах.

$$\varphi(\text{в-ва}) = V(\text{в-ва})/V(\text{системы}); \quad (2.3)$$

$$\varphi(\text{в-ва}) = (V(\text{в-ва})/V(\text{системы})) \cdot 100 \%. \quad (2.4)$$

**2.18.** Определите объемную долю кислорода (в процентах) в газовой смеси, состоящей из 7 г азота и 16 г кислорода.

**Решение.** Вычисляем количества азота и кислорода:

$$v(\text{N}_2) = m(\text{N}_2)/M(\text{N}_2); v(\text{N}_2) = 7/28 = 0,25 \text{ моль};$$

$$v(\text{O}_2) = m(\text{O}_2)/M(\text{O}_2); v(\text{O}_2) = 16/32 = 0,5 \text{ моль}.$$

Определяем их объемы при н.у.:

$$V(\text{N}_2) = v(\text{N}_2) \cdot 22,4 \text{ л/моль};$$

$$V(\text{N}_2) = 0,25 \cdot 22,4 = 5,6 \text{ л};$$

$$V(\text{O}_2) = v(\text{O}_2) \cdot 22,4 \text{ л/моль};$$

$$V(\text{O}_2) = 0,5 \cdot 22,4 = 11,2 \text{ л}.$$

Объем смеси равен сумме объемов азота и кислорода:

$$V(\text{смеси}) = V(\text{N}_2) + V(\text{O}_2);$$

$$V(\text{смеси}) = 5,6 + 11,2 = 16,8 \text{ л.}$$

Находим объемную долю кислорода по уравнению (2.4):

$$\varphi(\text{O}_2) = \frac{V(\text{O}_2)}{V(\text{смеси})} \cdot 100 \%;$$

$$\varphi(\text{O}_2) = \frac{11,2}{16,8} \cdot 100 \% = 66,7 \%.$$

**2.19.** Определите объемную долю водорода (в процентах) в газовой смеси, состоящей из 3 г водорода, 14 г азота и 17 г аммиака.

Ответ: 50 %.

**2.20.** Определите объемную долю этанола (в процентах) в смеси, состоящей из 80 г этанола и 100 г воды. Плотность этанола равна 0,8 г/мл, плотность воды — 1 г/мл.

Ответ: 50 %.

**2.21.** Газовая смесь состоит из аргона и гелия. Объемная доля гелия составляет 40 %. Определите массу гелия в составе 5,6 л смеси при н.у.

**Решение.** Определяем объем гелия:

$$V(\text{He}) = (V(\text{r}) \cdot \varphi(\text{He}))/100 \%;$$

$$V(\text{He}) = (5,6 \cdot 40)/100 = 2,24 \text{ л.}$$

Рассчитываем количество гелия:

$$\nu(\text{He}) = V(\text{He})/22,4 \text{ л/моль};$$

$$\nu(\text{He}) = 2,24/22,4 = 0,1 \text{ моль.}$$

Находим массу гелия:

$$m(\text{He}) = \nu(\text{He}) \cdot M(\text{He}); m(\text{He}) = 0,1 \cdot 4 = 0,4 \text{ г.}$$

**2.22.** Газовая смесь состоит из фтора, хлора и аргона. Объемная доля фтора составляет 40 %, хлора 20 %. Определите массу аргона в составе 11,2 л смеси при н.у.

Ответ: 8 г.

**2.23.** Плотность газовой смеси, состоящей из гелия и ксенона, при н.у. равна 3 г/л. Определите объемную долю гелия (в процентах) в смеси.

**Решение.** Для расчетов выбираем образец смеси количеством вещества 1 моль. Тогда при н.у. объем образца равен 22,4 л.

Находим массу образца газа:

$$m(\text{г}) = \rho(\text{г}) \cdot V(\text{г}); m(\text{г}) = 3 \cdot 22,4 = 67,2 \text{ г.}$$

Обозначаем количество гелия в образце смеси  $x$  тогда количество ксенона в смеси будет равно  $(1-x)$ . Выразим массы гелия и ксенона в образце:

$$m(\text{He}) = \nu(\text{He}) \cdot M(\text{He}); m(\text{He}) = x \cdot 4;$$

$$m(\text{Xe}) = \nu(\text{Xe}) \cdot M(\text{Xe}); m(\text{Xe}) = (1-x) \cdot 131.$$

Масса образца равна сумме масс гелия и ксенона что составляет 67,2 г:

$$m(\text{He}) + m(\text{Xe}) = 67,2 \text{ г.}$$

В последнее уравнение подставляем значения масс гелия и ксенона:

$$4x + (1-x) \cdot 131 = 67,2$$

и получаем  $x = 0,5$  моль.

Определяем объем гелия:

$$V(\text{He}) = \nu(\text{He}) \cdot 22,4 \text{ л/моль};$$

$$V(\text{He}) = 0,5 \cdot 22,4 = 11,2 \text{ л.}$$

Рассчитываем объемную долю гелия в смеси:

$$\varphi(\text{He}) = \frac{V(\text{He})}{V(\text{смеси})} \cdot 100 \%;$$

$$\varphi(\text{He}) = \frac{11,2}{22,4} \cdot 100 \% = 50 \%$$

**2.24.** Плотность газовой смеси при н.у., состоящей из водорода и азота, равна 0,5 г/л. Определите объемную долю (в процентах) водорода.

Ответ: 65 %.

**2.25.** При н.у. газовая смесь объемом 11,2 л, состоящая из кислорода и водорода, имеет массу 10 г. Определите объемную долю (в процентах) водорода в смеси.

**Решение.** Определяем количество смеси:

$$\nu(\text{г}) = V/22,4 \text{ л/моль}; \nu(\text{г}) = 11,2/22,4 = 0,5 \text{ моль.}$$

Нами определено, что количество смеси равно 0,5 моль:

$$v(\text{N}_2) + v(\text{O}_2) = 0,5 \text{ моль},$$

тогда количество кислорода равно:

$$v(\text{O}_2) = 0,5 - v(\text{H}_2).$$

Выразим массы водорода и кислорода:

$$m(\text{H}_2) = v(\text{H}_2) \cdot M(\text{H}_2); m(\text{H}_2) = v(\text{H}_2) \cdot 2;$$

$$m(\text{O}_2) = v(\text{O}_2) \cdot M(\text{O}_2); m(\text{O}_2) = (0,5 - v(\text{H}_2)) \cdot 32.$$

Масса смеси равна сумме масс водорода и кислорода и составляет 10 г:

$$m(\text{H}_2) + m(\text{O}_2) = 10 \text{ г}.$$

Перепишем последнее уравнение, подставив значения масс водорода и кислорода:

$$v(\text{H}_2) \cdot 2 + (0,5 - v(\text{H}_2)) \cdot 32 = 10.$$

Решаем уравнение:

$$v(\text{H}_2) = 0,2 \text{ моль}.$$

Рассчитываем объем водорода в составе смеси:

$$V(\text{H}_2) = 22,4 \text{ л/моль} \cdot v(\text{H}_2);$$

$$V(\text{H}_2) = 22,4 \cdot 0,2 = 4,48 \text{ л}.$$

Находим объемную долю водорода:

$$\varphi(\text{H}_2) = \frac{V(\text{H}_2)}{V(\text{смеси})} \cdot 100 \%;$$

$$\varphi(\text{H}_2) = \frac{4,48}{11,2} \cdot 100 \% = 40 \%.$$

**2.26.** При н.у. газовая смесь объемом 5,6 л, состоящая из криптона и гелия, имеет массу 12 г. Определите объемную долю гелия (в процентах) в смеси.

Ответ: 45 %.

**2.27.** Определите объемную долю (в процентах) глицерина в смеси, состоящей из 50 г этанола и 60 г глицерина. Плотность этанола равна 0,8 г/мл, плотность глицерина — 1,26 г/мл.

Ответ: 44 %.

### 2.3. ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ПЛОТНОСТЬ ГАЗОВ

Относительная плотность газа X по газу Y равна отношению молярной массы газа X к молярной массе газа Y, т.е.

$$D = M(X)/M(Y). \quad (2.5)$$

**2.28.** Определите относительную плотность сероводорода по водороду.

**Решение.** Молярная масса сероводорода равна 34 г/моль и водорода — 2 г/моль.

По уравнению (2.5) рассчитываем относительную плотность сероводорода по водороду:

$$D = M(\text{H}_2\text{S})/M(\text{H}_2); D = 34/2 = 17.$$

**2.29.** Определите относительную плотность кислорода по воздуху.

Ответ: 1,103.

**2.30.** Относительная плотность газообразного соединения  $\text{H}_2\text{X}$  по водороду равна 40,5. Определите элемент X.

**Решение.** Определяем молярную массу соединения  $\text{H}_2\text{X}$ , используя уравнение (2.5):

$$M(\text{H}_2\text{X}) = D \cdot M(\text{H}_2); M(\text{H}_2\text{X}) = 40,5 \cdot 2 = 81 \text{ г/моль.}$$

С учетом того, что

$$M(\text{H}_2\text{X}) = 2M(\text{H}) + M(\text{X}),$$

рассчитываем молярную массу элемента X:

$$M(\text{X}) = M(\text{H}_2\text{X}) - 2M(\text{H});$$

$$M(\text{X}) = 81 - 2 = 79 \text{ г/моль.}$$

По таблице Д.И. Менделеева определяем, что элементом с относительной атомной массой, равной 79, является селен (Se).

**2.31.** Относительная плотность газообразного соединения  $\text{X}_2\text{O}_3$  по метану ( $\text{CH}_4$ ) равна 4,75. Определите элемент X.

Ответ: N.

**2.32.** Определите относительную плотность по воздуху газовой смеси, состоящей из 8 г кислорода и 7,5 г этана ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ).

**Решение.** Определяем количество кислорода и этана в смеси:

$$\nu(\text{O}_2) = m(\text{O}_2)/M(\text{O}_2); \nu(\text{O}_2) = 8/32 = 0,25 \text{ моль};$$

$$\nu(\text{C}_2\text{H}_6) = m(\text{C}_2\text{H}_6)/M(\text{C}_2\text{H}_6);$$

$$\nu(\text{C}_2\text{H}_6) = 7,5/30 = 0,25 \text{ моль}.$$

Количество газовой смеси равно сумме количеств кислорода и этана:

$$\nu(\text{смесь}) = \nu(\text{O}_2) + \nu(\text{C}_2\text{H}_6) = 0,25 + 0,25 = 0,5 \text{ моль}.$$

Масса газовой смеси равна сумме масс кислорода и этана:

$$m(\text{смесь}) = m(\text{O}_2) + m(\text{C}_2\text{H}_6);$$

$$m(\text{смесь}) = 8 + 7,5 = 15,5 \text{ г}.$$

Зная массу и количество газовой смеси, можно определить ее молярную массу:

$$M(\text{смеси}) = m(\text{смеси})/\nu(\text{смеси});$$

$$M(\text{смеси}) = 15,5/0,5 = 31 \text{ г/моль}.$$

Теперь рассчитываем относительную плотность смеси по воздуху:

$$D = M(\text{смеси})/M(\text{воздуха}); D = 31/29 = 1,07.$$

**2.33.** Определите относительную плотность по водороду газовой смеси, состоящей из 8 г метана ( $\text{CH}_4$ ), 30 г этана ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ) и 22 г пропана ( $\text{C}_3\text{H}_8$ ).

Ответ: 15.

**2.34.** Относительная плотность газа по водороду равна 8. Определите, какой объем займет этот газ (н.у.), если его масса равна 32 г.

Ответ: 44,8 л.

**2.35.** Относительная плотность газа по азоту равна 2. Определите массу 11,2 л газа при н.у.

Ответ: 28 г.

**2.36.** Относительная плотность по водороду газовой смеси, состоящей из гелия и кислорода, равна 12,5. Определите объем гелия (н.у.) в смеси массой 10 г.

**Решение.** Определяем молярную массу газовой смеси:

$$M(\text{г}) = D \cdot M(\text{H}_2); M(\text{г}) = 12,5 \cdot 2 = 25 \text{ г/моль}.$$

Рассчитаем количество смеси:

$$\nu(\text{r}) = m(\text{r})/M(\text{r}); \nu(\text{r}) = 10/25 = 0,4 \text{ моль.}$$

По условию масса смеси равна 10 г, т.е.

$$m(\text{He}) + m(\text{O}_2) = 10 \text{ г.}$$

Выразим массу кислорода:

$$m(\text{O}_2) = 10 - m(\text{He}).$$

Выразим количество гелия и кислорода:

$$\nu(\text{He}) = m(\text{He})/M(\text{He}); \nu(\text{He}) = m(\text{He})/4;$$

$$\nu(\text{O}_2) = m(\text{O}_2)/M(\text{O}_2); \nu(\text{O}_2) = (10 - m(\text{He}))/32.$$

Количество смеси равно сумме количеств гелия и кислорода и составляет 0,4 моль:

$$\nu(\text{He}) + \nu(\text{O}_2) = 0,4 \text{ моль.}$$

В последнее уравнение подставляем значения количеств гелия и кислорода:

$$m(\text{He})/4 + (10 - m(\text{He}))/32 = 0,4.$$

Решаем уравнение:

$$m(\text{He}) = 0,4 \text{ г.}$$

Находим количество гелия:

$$\nu(\text{He}) = m(\text{He})/M(\text{He}); \nu(\text{He}) = 0,4/4 = 0,1 \text{ моль.}$$

Определяем объем гелия при н.у.:

$$V(\text{He}) = \nu(\text{He}) \cdot 22,4 \text{ л/моль};$$

$$V(\text{He}) = 0,1 \cdot 22,4 = 2,24 \text{ л.}$$

**2.37.** Относительная плотность по гелию газовой смеси, состоящей из водорода и азота, равна 2,125. Определите массу азота в смеси, имеющей объем 5,6 л (н.у.).

Ответ: 1,75 г.

## 2.4. КОМБИНИРОВАННЫЕ ЗАДАЧИ

**2.38.** Масса 2,5 л смеси оксида углерода (II) и водорода при давлении 202,6 кПа и температуре 27 °C равна 3 г. Определите массовую долю (в процентах) водорода в смеси.

Решение. Определяем объем газовой смеси при н.у., учитывая, что  $T = (273 + 27) \text{ К} = 300 \text{ К}$ :

$$V_0(\text{смесь}) = PVT_0/P_0T;$$

$$V_0(\text{смеси}) = (202,6 \cdot 2,5 \cdot 273)/(101,3 \cdot 300) = 4,55 \text{ л.}$$

Вычисляем количество газовой смеси:

$$\nu(\text{г}) = V(\text{г})/22,4 \text{ л/моль};$$

$$\nu(\text{г}) = 4,55/22,4 = 0,203 \text{ моль.}$$

По условию известно, что масса смеси равна 3 г, т.е.

$$m(\text{CO}) + m(\text{H}_2) = 3 \text{ г.}$$

Выразим массу оксида углерода:

$$m(\text{CO}) = 3 - m(\text{H}_2).$$

Выразим количества водорода и оксида углерода:

$$\nu(\text{H}_2) = m(\text{H}_2)/M(\text{H}_2); \nu(\text{H}_2) = m(\text{H}_2)/2;$$

$$\nu(\text{CO}) = m(\text{CO})/M(\text{CO}); \nu(\text{CO}) = (3 - m(\text{H}_2))/28.$$

Количество смеси равно сумме количеств водорода и оксида углерода и составляет 0,203 моль:

$$\nu(\text{H}_2) + \nu(\text{CO}) = 0,203 \text{ моль.}$$

В последнее уравнение подставляем значения количеств водорода и оксида углерода:

$$m(\text{H}_2)/2 + (3 - m(\text{H}_2))/28 = 0,203.$$

Решаем уравнение:

$$m(\text{H}_2) = 0,206 \text{ г.}$$

Рассчитываем массовую долю водорода в составе смеси:

$$\omega(\text{H}_2) = \frac{m(\text{H}_2)}{m(\text{смеси})} \cdot 100 \%;$$

$$\omega(\text{H}_2) = \frac{0,206}{3} \cdot 100 \% = 6,8 \%.$$

**2.39.** Масса 5 л смеси оксида углерода (IV) и гелия при давлении 50 кПа и температуре 250 °С равна 1,2 г. Определите массовую долю (в процентах) гелия в смеси.

Ответ: 11 %.

2.40. Объем газовой смеси, состоящей из азота и водорода, при давлении 120 кПа и 27 °С равен 2 л. Определите объемную долю (в процентах) водорода, если его масса в смеси равна 0,1 г.

Ответ: 52 %.

2.41. Объем газовой смеси, состоящей из оксида серы (IV) и воды, при давлении 110 кПа и 120 °С равен 5 л. Определите массу воды, если известно, что ее объемная доля равна 30 %.

Ответ: 0,91 г.

2.42. Объемная доля аргона в смеси его с гелием равна 20 %. Определите массу смеси объемом 5 л при температуре 30 °С и давлении 114 кПа.

Ответ: 2,52 г.

2.43. Определите массу газовой смеси, состоящей из кислорода ( $\varphi = 30\%$ ), азота ( $\varphi = 25\%$ ) и водорода ( $\varphi = 45\%$ ) и имеющей объем 10 л, при температуре 25 °С и давлении 95 кПа.

Ответ: 6,7 г.

2.44. Газовая смесь состоит из водорода и кислорода. Объемная доля кислорода равна 20 %. Определите массовую долю водорода.

**Решение.** Выбираем образец газовой смеси объемом, равным объему 1 моль газа (при н.у.), 22,4 л.

Определяем объем кислорода в образце:

$$V(\text{O}_2) = (\varphi(\text{O}_2) \cdot V(\Gamma))/100\%;$$

$$V(\text{O}_2) = (20 \cdot 22,4)/100 = 4,48 \text{ л.}$$

Объем водорода будет равен разности объемов образца и кислорода:

$$V(\text{H}_2) = V(\Gamma) - V(\text{O}_2); V(\text{H}_2) = 22,4 - 4,48 = 17,92 \text{ л.}$$

Определяем количества кислорода и водорода в образце:

$$v(\text{O}_2) = V(\text{O}_2)/22,4 \text{ л/моль};$$

$$v(\text{O}_2) = 4,48/22,4 = 0,2 \text{ моль};$$

$$v(\text{H}_2) = V(\text{H}_2) / 22,4 \text{ л/моль};$$

$$v(\text{H}_2) = 17,92/22,4 = 0,8 \text{ моль.}$$

Рассчитываем массы кислорода и водорода:

$$m(\text{O}_2) = \nu(\text{O}_2) \cdot M(\text{O}_2); m(\text{O}_2) = 0,2 \cdot 32 = 6,4 \text{ г};$$

$$m(\text{H}_2) = \nu(\text{H}_2) \cdot M(\text{H}_2); m(\text{H}_2) = 0,8 \cdot 2 = 1,6 \text{ г}.$$

Находим массовую долю водорода:

$$\omega(\text{H}_2) = \frac{m(\text{H}_2)}{m(\text{H}_2) + m(\text{O}_2)} \cdot 100 \%;$$

$$\omega(\text{H}_2) = \frac{1,6}{1,6 + 6,4} \cdot 100 = 20 \%.$$

**2.45.** Газовая смесь состоит из азота и гелия. Объемная доля гелия равна 80 %. Определите массовую долю азота в смеси.

Ответ: 63,6 %.

**2.46.** Относительная плотность газовой смеси по водороду равна 15. Определите массу газовой смеси объемом 5 л при давлении 95 кПа и температуре 300 К.

**Решение.** Определяем молярную массу газовой смеси:

$$M(\text{г}) = D \cdot M(\text{H}_2); M(\text{г}) = 15 \cdot 2 = 30 \text{ г/моль}.$$

Рассчитываем объем смеси, приведенный к н.у.:

$$V_0(\text{г}) = PVT_0/P_0T;$$

$$V_0(\text{г}) = (95 \cdot 5 \cdot 273)/(101,3 \cdot 300) = 4,27 \text{ л}.$$

Вычисляем количество смеси:

$$\nu(\text{г}) = V_0(\text{г})/22,4 \text{ л/моль};$$

$$\nu(\text{г}) = 4,27/22,4 = 0,19 \text{ моль}.$$

Находим массу смеси:

$$m(\text{г}) = \nu(\text{г}) \cdot M(\text{г}); m(\text{г}) = 0,19 \cdot 30 = 5,7 \text{ г}.$$

**2.47.** Относительная плотность газовой смеси, состоящей из водорода и азота, по гелию равна 5. Определите массовую долю азота в смеси.

**Решение.** Для расчетов берем образец смеси количеством вещества 1 моль.

Определяем молярную массу газовой смеси:

$$M(\text{г}) = D \cdot M(\text{He}); M(\text{г}) = 5 \cdot 4 = 20 \text{ г/моль}.$$

Тогда масса образца смеси будет равна:

$$m(\Gamma) = v(\Gamma) \cdot M(\Gamma); m(\Gamma) = 1 \cdot 20 = 20 \text{ г.}$$

Масса смеси равна сумме масс азота и водорода:

$$m(\text{N}_2) + m(\text{H}_2) = 20 \text{ г.}$$

Из уравнения следует, что  $m(\text{H}_2) = 20 - m(\text{N}_2)$ .

Выразим количество азота и водорода в составе смеси:

$$v(\text{N}_2) = m(\text{N}_2)/M(\text{N}_2); v(\text{N}_2) = m(\text{N}_2)/28;$$

$$v(\text{H}_2) = m(\text{H}_2)/M(\text{H}_2); v(\text{H}_2) = (20 - m(\text{N}_2))/2.$$

Нами принято, что количество газовой смеси равно 1 моль:

$$v(\text{N}_2) + v(\text{H}_2) = 1 \text{ моль.}$$

В последнее уравнение подставляем значения количеств азота и водорода:

$$m(\text{N}_2)/28 + (20 - m(\text{N}_2))/2 = 1,$$

решив которое, получим

$$m(\text{N}_2) = 19,4 \text{ г.}$$

Определяем массовую долю азота:

$$\omega(\text{N}_2) = \frac{m(\text{N}_2)}{m(\Gamma)} \cdot 100 \%;$$

$$\omega(\text{N}_2) = \frac{19,4}{20} \cdot 100 = 97 \%.$$

**2.48.** Относительная плотность газовой смеси состоящей из гелия и оксида углерода (IV), по водороду равна 10. Определите объемную долю (в процентах) гелия в смеси.

Ответ: 60 %.

**2.49.** Масса образца мела равна 105 г. Количество атомарного углерода в составе карбоната кальция равно 1 моль. Определите массовую долю (в процентах)  $\text{CaCO}_3$  в образце мела.

**Решение.** Из формулы карбоната кальция следует, что в состав 1 моль  $\text{CaCO}_3$  входит 1 моль атомов углерода. Следовательно,

$$v(\text{CaCO}_3) = v(\text{C}); v(\text{CaCO}_3) = 1 \text{ моль.}$$

Определяем массу карбоната кальция в образце:

$$m(\text{CaCO}_3) = v(\text{CaCO}_3) \cdot M(\text{CaCO}_3);$$

$$m(\text{CaCO}_3) = 1 \cdot 100 = 100 \text{ г.}$$

Рассчитываем массовую долю карбоната в образце:

$$\omega(\text{CaCO}_3) = \frac{m(\text{CaCO}_3)}{m(\text{мел})} \cdot 100 \%;$$

$$\omega(\text{CaCO}_3) = \frac{100}{105} \cdot 100 = 95 \%.$$

**2.50.** Массовая доля атомарного хлора в газовой смеси, состоящей из хлороводорода и фтороводорода, равна 35,5 %. Определите относительную плотность газовой смеси по водороду.

**Решение.** Для расчетов выбираем образец смеси массой 100 г.

Определяем массу хлора в образце:

$$m(\text{Cl}) = (\omega(\text{Cl}) \cdot (\text{образца}))/100 \%;$$

$$m(\text{Cl}) = (35,5 \cdot 100)/100 = 35,5 \text{ г.}$$

Рассчитываем количество атомарного хлора в образце:

$$v(\text{Cl}) = m(\text{Cl})/M(\text{Cl});$$

$$v(\text{Cl}) = 35,5/35,5 = 1 \text{ моль.}$$

Из формулы хлороводорода следует, что в состав 1 моль HCl входит 1 моль атомов хлора.

Следовательно,

$$v(\text{HCl}) = v(\text{Cl}); v(\text{HCl}) = 1 \text{ моль.}$$

Рассчитываем массу хлороводорода в образце:

$$m(\text{HCl}) = v(\text{HCl}) \cdot M(\text{HCl}); m(\text{HCl}) = 1 \cdot 36,5 = 36,5 \text{ г.}$$

Масса фтороводорода равна разности масс образца и хлороводорода:

$$m(\text{HF}) = m(\text{образца}) - m(\text{HCl});$$

$$m(\text{HF}) = 100 - 36,5 = 63,5 \text{ г.}$$

Вычисляем количество фтороводорода:

$$v(\text{HF}) = m(\text{HF})/M(\text{HF});$$

$$v(\text{HF}) = 63,5/20 = 3,175 \text{ моль.}$$

Количество газовой смеси равно сумме количеств хлороводорода и фтороводорода:

$$v(\text{r}) = v(\text{HCl}) + v(\text{HF});$$

$$v(\text{r}) = 1 + 3,175 = 4,175 \text{ моль.}$$

Находим молярную массу газа, учитывая, что его масса равна 100 г:

$$M(\text{r}) = m(\text{r})/v(\text{r}); M(\text{r}) = 100/4,175 = 24 \text{ г/моль.}$$

Определяем относительную плотность газа по водороду:

$$D = M(\text{r})/M(\text{H}_2); D = 24/2 = 12.$$

**2.51.** Массовая доля O в газовой смеси, состоящей из  $\text{CO}_2$  и  $\text{SO}_2$ , равна 0,6. Определите относительную плотность газовой смеси по гелию.

**Решение.** Для расчетов выбираем образец газовой смеси массой 100 г.

Находим массу кислорода в образце:

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

Определяем количество атомарного кислорода в образце:

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

Из формулы оксида углерода следует, что в состав 1 моль  $\text{CO}_2$  входит 2 моль атомов кислорода.

Следовательно,

$$v(\text{CO}_2) = 0,5 v_1(\text{O}). \quad (1)$$

В составе 1 моль  $\text{SO}_2$  содержится 2 моль атомов кислорода.

Следовательно,

$$v(\text{SO}_2) = 0,5 v_2(\text{O}). \quad (2)$$

Сложим уравнения (1) и (2):

$$v(\text{CO}_2) + v(\text{SO}_2) = 0,5 v_1(\text{O}) + 0,5 v_2(\text{O}). \quad (3)$$

Преобразуем уравнение (3):

$$v(\text{CO}_2) + v(\text{SO}_2) = 0,5 v(\text{O}).$$

Подставим в уравнение значение количества кислорода в смеси (3,75 моль):

$$v(\text{CO}_2) + v(\text{SO}_2) = 0,5 \cdot 3,75 = 1,875 \text{ моль.}$$

Количество смеси равно сумме количеств оксидов углерода и серы:

$$v(\Gamma) = v(\text{CO}_2) + v(\text{SO}_2); v(\Gamma) = 1,875 \text{ моль.}$$

Определяем молярную массу газовой смеси:

$$M(\Gamma) = m(\Gamma)/v(\Gamma); M(\Gamma) = 100/1,875 = 53,3 \text{ г/моль.}$$

Рассчитываем относительную плотность газовой смеси по гелию:

$$D = M(\Gamma)/M(\text{He}); D = 53,3/4 = 13,3.$$

**2.52.** Массовая доля Н в газовой смеси, состоящей из хлороводорода и фтороводорода, равна 0,04. Определите относительную плотность газовой смеси по воздуху.

Ответ: 0,86.

### Глава 3. РАСЧЕТЫ ПО ХИМИЧЕСКИМ УРАВНЕНИЯМ

Уравнение химической реакции показывает количественные отношения между прореагировавшими без остатка исходными веществами и образовавшимися продуктами реакции. Зная количество одного вещества, по уравнению реакции можно рассчитать значения количеств всех остальных веществ. Если один реагент берется в избытке, то расчет по уравнению проводят с использованием количественных характеристик полностью прореагировавшего вещества.

Количество продукта реакции, получаемого в соответствии с расчетом по уравнению, называется теоретическим количеством. Как правило, продукта образуется меньше, чем ожидалось в соответствии с расчетами. Его количество называется практическим. Отношение практического количества к теоретическому называется практическим выходом продукта.

Выход продукта может быть выражен в долях от единицы или в процентах:

$$\eta = \frac{V_{\text{практ}}}{V_{\text{теор}}}; \quad (3.1)$$

$$\eta = \frac{V_{\text{практ}}}{V_{\text{теор}}} \cdot 100 \%. \quad (3.2)$$

3.1. Какой объем водорода (н.у.) выделится при взаимодействии 6,5 г цинка с избытком соляной кислоты?

Ответ: 2,24 л.

3.2. Какая масса сульфата цинка образуется при взаимодействии 16,2 г оксида цинка (II) с избытком серной кислоты?

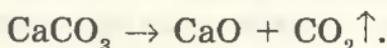
Ответ: 32,2 г.

3.3. Какая масса гидроксида бария образуется при взаимодействии смеси, состоящей из 27,4 г бария и 15,3 г оксида бария с избытком воды?

Ответ: 51,3 г.

3.4. Образец массой 15,6 г, состоящий из оксида и карбоната кальция, прокалили. В результате реакции выделился газ объемом 2,24 л (н.у.). Определите массовую долю (в процентах) оксида кальция в образце.

**Решение.** Оксид кальция устойчив к нагреванию. При прокаливании будет разлагаться карбонат кальция по уравнению



Рассчитываем количество образовавшегося оксида углерода:

$$v(\text{CO}_2) = V(\text{CO}_2)/22,4; v(\text{CO}_2) = 2,24/22,4 = 0,1 \text{ моль.}$$

Согласно уравнению реакции

$$v(\text{CaCO}_3) = v(\text{CO}_2); v(\text{CaCO}_3) = 0,1 \text{ моль.}$$

Находим массу карбоната кальция:

$$m(\text{CaCO}_3) = v(\text{CaCO}_3) \cdot M(\text{CaCO}_3);$$

$$m(\text{CaCO}_3) = 100 \cdot 0,1 = 10 \text{ г.}$$

Масса оксида кальция равна разнице масс образца смеси и карбоната кальция:

$$m(\text{CaO}) = m(\text{образца}) - m(\text{CaCO}_3);$$

$$m(\text{CaO}) = 15,6 - 10 = 5,6 \text{ г.}$$

Определяем массовую долю оксида кальция в образце:

$$\omega(\text{CaO}) = \frac{m(\text{CaO})}{m(\text{образца})} \cdot 100 \%;$$

$$\omega(\text{CaO}) = \frac{5,6}{15,6} \cdot 100 = 35,9 \%$$

3.5. Образец смеси хлорида аммония и хлорида натрия массой 11,1 г прокалили. Образовавшийся хлороводород собрали и пропустили через раствор нитрата серебра. Выпал осадок массой 14,35 г. Определите массу хлорида натрия в образце.

Ответ: 5,75 г.

3.6. При термическом разложении 10 г карбоната неизвестного металла, степень окисления которого равна +2, получили оксид углерода (IV) объемом 2,24 л (н.у.). Определите неизвестный металл.

**Решение.** Поскольку степень окисления металла равна +2, формула карбоната будет иметь вид:  $\text{MeCO}_3$ .

Записываем уравнение реакции разложения карбоната:



Определяем количество образовавшегося оксида углерода:

$$v(\text{CO}_2) = V(\text{CO}_2)/22,4 \text{ л/моль};$$

$$v(\text{CO}_2) = 2,24/22,4 = 0,1 \text{ моль}.$$

Согласно уравнению реакции разложения карбоната

$$v(\text{MeCO}_3) = v(\text{CO}_2); v(\text{MeCO}_3) = 0,1 \text{ моль}.$$

Рассчитываем молярную массу карбоната:

$$M(\text{MeCO}_3) = m(\text{MeCO}_3)/v(\text{MeCO}_3);$$

$$M(\text{MeCO}_3) = 10/0,1 = 100 \text{ г/моль}.$$

Вычисляем молярную массу неизвестного металла:

$$M(\text{Me}) = M(\text{MeCO}_3) - M(\text{C}) - 3M(\text{O});$$

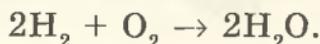
$$M(\text{Me}) = 100 - 12 - 48 = 40 \text{ г/моль}.$$

По таблице Д.И. Менделеева определяем неизвестный металл — кальций.

3.7. Объем смеси водорода и кислорода равен 35 мл. После реакции между компонентами смеси оказалось, что водород прореагировал не полностью. Объем непрореагировавшего водорода равен 5 мл. Определите объем водорода в исходной смеси. Все

объемы измерены при одинаковых условиях.

**Решение.** Запишем уравнение реакции:



Из уравнения реакции следует, что с одним объемом кислорода реагирует два объема водорода. С учетом этого обозначим:  $x$  — объем кислорода, вступившего в реакцию ( $V(\text{O}_2)$ );  $2x$  — объем водорода, вступившего в реакцию ( $V_1(\text{H}_2)$ ).

Объем веществ, вступивших в реакцию, равен разнице объемов исходной смеси и водорода, не вступившего в реакцию:

$$V = 35 - 5 = 30 \text{ мл.}$$

В то же время объем вступивших веществ в реакцию равен сумме объемов прореагировавших водорода и кислорода, что составляет 30 мл:

$$x + 2x = 30 \text{ мл.}$$

Решаем уравнение:  $x = 10$  мл.

Тогда объем водорода, вступившего в реакцию, будет равен:

$$V_1(\text{H}_2) = 2x; V_1(\text{H}_2) = 2 \cdot 10 = 20 \text{ мл.}$$

Объем водорода в исходной смеси равен сумме объемов прореагировавшего и непрореагировавшего водорода:

$$V(\text{H}_2) = V_1(\text{H}_2) + V_2(\text{H}_2); V(\text{H}_2) = 20 + 5 = 25 \text{ мл.}$$

**3.8.** Объем смеси водорода и хлора равен 25 л. После реакции между компонентами смеси оказалось, что хлор прореагировал не полностью. Объем непрореагировавшего хлора равен 3 л. Определите объем хлора в исходной смеси. Все объемы измерены в одинаковых условиях.

Ответ: 14 л.

**3.9.** При взаимодействии смеси цинка и магния массой 8,9 г с избытком соляной кислоты выделился водород объемом 4,48 л (н.у.). Определите массу цинка.

**Решение.** Для решения задачи обозначим:  $x$ ,  $y$  — количества цинка и магния, вступивших в реакцию, соответственно.

Выражаем массы цинка и магния, вступивших в реакцию:

$$m(\text{Zn}) = \nu(\text{Zn}) \cdot M(\text{Zn}); m(\text{Zn}) = 65x; \quad (1)$$

$$m(\text{Mg}) = \nu(\text{Mg}) \cdot M(\text{Mg}); m(\text{Mg}) = 24y. \quad (2)$$

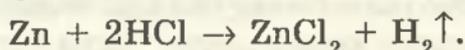
Согласно условию сумма масс цинка и магния равна 8,9 г:

$$m(\text{Zn}) + m(\text{Mg}) = 8,9 \text{ г}. \quad (3)$$

Подставим в уравнение (3) значения масс цинка (1) и магния (2):

$$65x + 24y = 8,9. \quad (4)$$

Записываем уравнение реакции взаимодействия цинка с соляной кислотой:



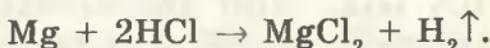
Согласно уравнению реакции

$$\nu_1(\text{H}_2) = \nu(\text{Zn}); \nu_1(\text{H}_2) = x.$$

Выражаем объем водорода, выделившегося в результате реакции:

$$V_1(\text{H}_2) = \nu_1(\text{H}_2) \cdot 22,4 \text{ л/моль}; V_1(\text{H}_2) = 22,4x. \quad (5)$$

Записываем уравнение реакции взаимодействия магния с соляной кислотой:



Согласно уравнению реакции

$$\nu_2(\text{H}_2) = \nu(\text{Mg}); \nu_2(\text{H}_2) = y.$$

Выражаем объем водорода, выделившегося в результате второй реакции:

$$V_2(\text{H}_2) = \nu_2(\text{H}_2) \cdot 22,4 \text{ л/моль}; V_2(\text{H}_2) = 22,4y. \quad (6)$$

Общий объем выделившегося водорода будет равен:

$$V_1(\text{H}_2) + V_2(\text{H}_2) = 4,48 \text{ л}. \quad (7)$$

В уравнение (7) подставляем соответствующие значения объемов водорода (5) и (6):

$$22,4x + 22,4y = 4,48. \quad (8)$$

Составив систему из уравнений (4) и (8) и решив ее

$$\begin{cases} 65x + 24y = 8,9, \\ 22,4x + 22,4y = 4,48, \end{cases}$$

получим  $x = 0,1$  моль;  $y = 0,1$  моль.

Определяем массу цинка:

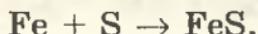
$$m(\text{Zn}) = 65x; m(\text{Zn}) = 0,1 \cdot 65 = 6,5 \text{ г}.$$

**3.10.** На нейтрализацию смеси гидроксида натрия и гидроксида калия массой 9,6 г затратили 9,8 г серной кислоты. Определите массу NaOH в смеси.

Ответ: 4 г.

**3.11.** Какая масса сульфида железа (II) может быть получена при взаимодействии 30 г железа и 16 г серы.

**Решение.** Записываем уравнения реакции:



Для проведения расчетов по химическому уравнению необходимо определить вещество, взятое в избытке. Для этого определяем количества железа и серы:

$$\nu(\text{Fe}) = m(\text{Fe})/M(\text{Fe}); \nu(\text{Fe}) = 30/56 = 0,54 \text{ моль};$$

$$\nu(\text{S}) = m(\text{S})/M(\text{S}); \nu(\text{S}) = 16/32 = 0,5 \text{ моль}.$$

В соответствии с уравнением реакции количество прореагировавшей серы равно количеству прореагировавшего железа, т.е.

$$\nu(\text{S}) = \nu(\text{Fe}).$$

Значит, с 0,5 моль серы прореагирует 0,5 моль железа. Следовательно, железо находится в избытке и прореагирует не полностью. Расчеты необходимо проводить, используя количественные характеристики вещества, полностью вступившего в реакцию, т.е. серы.

Согласно уравнению реакции

$$\nu(\text{FeS}) = \nu(\text{S}); \nu(\text{FeS}) = 0,5 \text{ моль}.$$

Определяем массу сульфида железа:

$$m(\text{FeS}) = \nu(\text{FeS}) \cdot M(\text{FeS}); m(\text{FeS}) = 0,5 \cdot 88 = 44 \text{ г}.$$

**3.12.** Какая масса воды образуется при взрыве смеси, содержащей 64 г кислорода и 9 г водорода?

Ответ: 72 г.

**3.13.** Какой объем водорода выделится при взаимодействии 6,5 г цинка с раствором серной кислоты массой 100 г и с массовой долей  $\text{H}_2\text{SO}_4$  20 %.

Ответ: 2,24 л.

**3.14.** Какая масса осадка образуется при сливании раствора нитрата серебра массой 80 г с массовой долей  $\text{AgNO}_3$  21,25 % и раствора хлорида натрия массой 70 г с массовой долей NaCl 10 %?

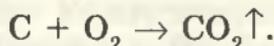
Ответ: 14,35 г.

**3.15.** Какая масса осадка образуется при сливании раствора хлорида бария массой 40 г с массовой долей  $BaCl_2$  5,2 % и раствора сульфата калия массой 50 г с массовой долей  $K_2SO_4$  6 % ?

Ответ: 2,33 г.

**3.16.** Оксид углерода (IV), полученный при полном сжигании 0,3 г углерода, пропустили через раствор гидроксида бария массой 200 г с массовой долей  $Ba(OH)_2$  3,42 %. Определите массу осадка.

**Решение.** Записываем уравнение реакции горения углерода:



Рассчитываем количество углерода:

$$v(C) = m(C)/M(C); v(C) = 0,3/12 = 0,025 \text{ моль.}$$

Согласно уравнению реакции

$$v(CO_2) = v(C); v(CO_2) = 0,025 \text{ моль.}$$

Определяем массу гидроксида бария в растворе

$$m(Ba(OH)_2) = (\omega(Ba(OH)_2) \cdot m(p\text{-ра}))/100 \% ;$$

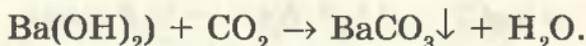
$$m(Ba(OH)_2) = (3,42 \cdot 200)/100 = 6,84 \text{ г.}$$

Вычисляем количество гидроксида бария:

$$v(Ba(OH)_2) = m(Ba(OH)_2)/M(Ba(OH)_2);$$

$$v(Ba(OH)_2) = 6,84/171 = 0,04 \text{ моль.}$$

Гидроксид бария с оксидом углерода (IV) будет реагировать по уравнению



В соответствии с уравнением химической реакции с 0,025 моль оксида углерода прореагирует 0,025 моль гидроксида бария. Следовательно,  $Ba(OH)_2$  находится в избытке. Расчеты проводим по оксиду углерода. Согласно последнему уравнению реакции

$$v(BaCO_3) = v(CO_2); v(BaCO_3) = 0,025 \text{ моль.}$$

Определяем массу осадка:

$$m(BaCO_3) = v(BaCO_3) \cdot M(BaCO_3);$$

$$m(BaCO_3) = 0,025 \cdot 197 = 4,925 \text{ г.}$$

**3.17.** Хлороводород, полученный в результате взаимодействия 2,24 л  $H_2$  (н.у.) с избытком  $Cl_2$ , пропустили через раствор нитрата серебра массой 50 г с массовой долей соли 3,4 %. Определите массу осадка.

Ответ: 1,435 г.

**3.18.** Между компонентами смеси, состоящей из 10 л  $CO$  (н.у.) и 15 л кислорода (н.у.), провели реакцию. Определите массу образовавшегося оксида углерода (IV).

Ответ: 19,6 г.

**3.19.** Между компонентами смеси, состоящей из 10 л аммиака (н.у.) и 20 л кислорода (н.у.), провели реакцию (в отсутствие катализатора). Определите массу продуктов реакции.

Ответ: 18,3 г.

**3.20.** Между компонентами смеси, состоящей из 15 л водорода (н.у.) и 10 л фтора (н.у.), провели реакцию. Определите объем (н.у.) газовой смеси после реакции.

Ответ: 25 л.

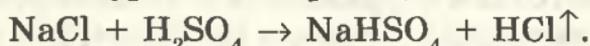
**3.21.** При действии избытка концентрированной серной кислоты на кристаллический хлорид натрия массой 11,7 г выделился хлороводород объемом 4 л (н.у.). Определите выход продукта (в процентах) реакции.

**Решение.** Рассчитываем количество хлорида натрия, вступившего в реакцию:

$$\nu(\text{NaCl}) = m(\text{NaCl})/M(\text{NaCl});$$

$$\nu(\text{NaCl}) = 11,7/58,5 = 0,2 \text{ моль.}$$

Записываем уравнение реакции:



Согласно уравнению реакции

$$\nu(\text{HCl}) = \nu(\text{NaCl}); \nu(\text{HCl}) = 0,2 \text{ моль.}$$

Находим объем хлороводорода (н.у.) при количественном (100 %) выходе:

$$V(\text{HCl})_{\text{теор}} = \nu(\text{HCl}) \cdot 22,4 \text{ л/моль};$$

$$V(\text{HCl})_{\text{теор}} = 0,2 \cdot 22,4 = 4,48 \text{ л.}$$

В соответствии с уравнением (3.2) определяем выход продукта реакции, если объем практический равен 4 л:

$$\eta(\text{HCl}) = \frac{V_{\text{практ}}(\text{HCl})}{V_{\text{теор}}(\text{HCl})} \cdot 100 \%;$$

$$\eta(\text{HCl}) = \frac{4}{4,48} \cdot 100 = 89 \%.$$

**3.22.** К раствору, содержащему 27 г хлорида меди (II), прибавили избыток гидроксида калия. При этом выпал осадок гидроксида меди (II) массой 19 г. Определите выход продукта (в процентах) реакции.

Ответ: 97 %.

**3.23.** Определите объем (н.у.) сероводорода, который образуется при взаимодействии 44 г сульфида железа (II) с избытком серной кислоты, если известно, что выход продукта реакции равен 95 %.

Ответ: 10,64 л.

**3.24.** Какую массу серной кислоты можно получить из 160 г оксида серы (VI), если выход продукта реакции равен 90 %?

Ответ: 176,4 г.

**3.25.** Какую массу оксида азота (II) можно получить при окислении 67,2 л (н.у.) аммиака, если потери производства составляют 10 %?

Ответ: 81 г.

**3.26.** Какую массу железа можно получить при восстановлении 464 г  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  оксидом углерода (II), если потери составляют 15 %?

Ответ: 286 г.

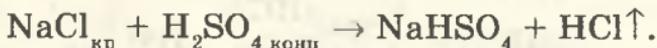
**3.27.** Хлороводород, полученный при действии избытка концентрированной серной кислоты на 11,7 г кристаллического  $\text{NaCl}$ , пропустили через раствор нитрата серебра ( $\text{AgNO}_3$  взят в избытке). Определите массу осадка ( $\text{AgCl}$ ), если выход продукта на каждой стадии равен 80 %.

**Решение.** Определяем количество хлорида натрия, вступившего в реакцию:

$$v(\text{NaCl}) = m(\text{NaCl})/M(\text{NaCl});$$

$$v(\text{NaCl}) = 11,7/58,5 = 0,2 \text{ моль.}$$

Записываем уравнение реакции:



Рассчитываем количество хлороводорода при количественном (100 %-ном) выходе.

Согласно уравнению реакции

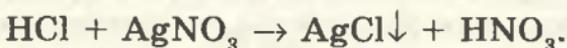
$$v(\text{NaCl}) = v(\text{HCl}); v(\text{HCl}) = 0,2 \text{ моль.}$$

Определяем практически полученное количество хлороводорода в соответствии с уравнением (3.2):

$$v_{\text{практ}}(\text{HCl}) = \eta \cdot v_{\text{теор}}(\text{HCl})/100 \%;$$

$$v_{\text{практ}}(\text{HCl}) = (80 \cdot 0,2)/100 = 0,16 \text{ моль.}$$

Хлороводород с нитратом серебра реагирует по уравнению



Согласно уравнению реакции

$$v(\text{AgCl}) = v_{\text{практ}}(\text{HCl}); v(\text{AgCl}) = 0,16 \text{ моль.}$$

Вычисляем массу хлорида серебра при количественном (100%-ном) выходе:

$$m_{\text{теор}}(\text{AgCl}) = v(\text{AgCl}) \cdot M(\text{AgCl});$$

$$m_{\text{теор}}(\text{AgCl}) = 0,16 \cdot 143,5 = 23 \text{ г.}$$

Определяем массу осадка:

$$m_{\text{практ}}(\text{AgCl}) = (m_{\text{теор}}(\text{AgCl}) \cdot \eta)/100 \%;$$

$$m_{\text{практ}}(\text{AgCl}) = (23 \cdot 80)/100 = 18,4 \text{ г.}$$

**3.28.** Над нагретой серой массой 12,8 г пропустили водород. Образовавшийся сероводород пропустили через раствор гидроксида натрия (взят в избытке). Определите массу образовавшегося сульфида натрия, если выход продукта реакции на первой стадии равен 80 %, на второй — 95 %.

Ответ: 23,7 г.

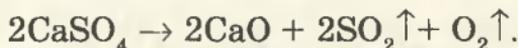
**3.29.** Сульфат кальция массой 27,2 г прокалили (1400 °C), выделившийся  $\text{SO}_2$  (выход равен 80 %) растворили в 200 г воды. Определите массовую долю (в процентах) сернистой кислоты в полученном растворе.

**Решение.** Вычисляем количество сульфата кальция:

$$v(\text{CaSO}_4) = m(\text{CaSO}_4)/M(\text{CaSO}_4);$$

$$v(\text{CaSO}_4) = 27,2/136 = 0,2 \text{ моль.}$$

Записываем уравнение реакции:



Согласно уравнению реакции

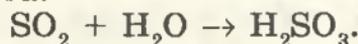
$$v_{\text{теор}}(\text{SO}_2) = v(\text{CaSO}_4); v_{\text{теор}}(\text{SO}_2) = 0,2 \text{ моль.}$$

Определяем практически полученное количество оксида серы (IV):

$$v_{\text{практ}}(\text{SO}_2) = (v_{\text{теор}}(\text{SO}_2) \cdot \eta)/100 \%;$$

$$v_{\text{практ}}(\text{SO}_2) = (0,2 \cdot 80)/100 = 0,16 \text{ моль.}$$

При растворении оксида серы (IV) в воде образуется сернистая кислота:



Согласно уравнению реакции

$$v(\text{H}_2\text{SO}_3) = v_{\text{практ}}(\text{SO}_2); v(\text{H}_2\text{SO}_3) = 0,16 \text{ моль.}$$

Тогда масса кислоты будет равна:

$$m(\text{H}_2\text{SO}_3) = v(\text{H}_2\text{SO}_3) \cdot M(\text{H}_2\text{SO}_3);$$

$$m(\text{H}_2\text{SO}_3) = 0,16 \cdot 82 = 13,12 \text{ г.}$$

Рассчитываем массу растворенного оксида серы:

$$m_{\text{практ}}(\text{SO}_2) = v_{\text{практ}}(\text{SO}_2) \cdot M(\text{SO}_2);$$

$$m_{\text{практ}}(\text{SO}_2) = 0,16 \cdot 64 = 10,24 \text{ г.}$$

Масса раствора будет равна:

$$m(\text{р-ра}) = m(\text{H}_2\text{O}) + m_{\text{практ}}(\text{SO}_2);$$

$$m(\text{р-ра}) = 200 + 10,24 = 210,24 \text{ г.}$$

Определяем массовую долю  $\text{H}_2\text{SO}_3$  в растворе:

$$\omega(\text{H}_2\text{SO}_3) = \frac{m(\text{H}_2\text{SO}_3)}{m(\text{р-ра})} \cdot 100 \%;$$

$$\omega(\text{H}_2\text{SO}_3) = \frac{13,12}{210,24} \cdot 100 = 6,24 \%.$$

**3.30.** Аммиак, полученный в результате разложения 107 г хлорида аммония (выход равен 80 %), растворили в 100 г воды. Определите массовую долю (в процентах) аммиака в полученном растворе.

Ответ: 21,4 %.

**3.31.** Составьте термохимическое уравнение реакции разложения карбоната кальция на оксид кальция и оксид углерода (IV). Известно, что при разложении 10 г карбоната кальция поглощается 17,8 кДж теплоты.

**Решение.** Рассчитываем количество карбоната кальция:

$$\nu(\text{CaCO}_3) = m(\text{CaCO}_3)/M(\text{CaCO}_3);$$

$$\nu(\text{CaCO}_3) = 10/100 = 0,1 \text{ моль.}$$

Определяем количество поглощаемой теплоты при разложении 1 моль карбоната кальция. Для этого составляем пропорцию. При разложении

$$0,1 \text{ моль CaCO}_3 \text{ поглощается } 17,8 \text{ кДж};$$

$$1 \text{ моль CaCO}_3 \quad \gg \quad x \text{ кДж};$$

$$x = (17,8 \cdot 1)/0,1 = 178 \text{ кДж.}$$

Следовательно, термохимическое уравнение реакции будет выглядеть так:



**3.32.** Рассчитайте количество теплоты, выделяемой при взаимодействии образца алюминия массой 120 г, содержащего 10 % инертных примесей, с избытком хлора по уравнению реакции:



**Решение.** Находим массу примеси в образце:

$$m(\text{примеси}) = \omega \cdot m(\text{образца})/100 \%;$$

$$m(\text{примеси}) = (10 \cdot 120) = 12 \text{ г.}$$

Масса алюминия равна разности масс образца и примесей:

$$m(\text{Al}) = 120 - 12 = 108 \text{ г.}$$

Определяем количество алюминия:

$$\nu(\text{Al}) = m(\text{Al})/M(\text{Al}); \nu(\text{Al}) = 108/27 = 4 \text{ моль.}$$

Вычисляем количество выделившейся теплоты. Для этого составим пропорцию.

При взаимодействии

2 моль Al выделяется 1394,8 кДж;

4 моль Al                   »                   x кДж;

$$x = (1394,8 \cdot 4) / 2 = 2789,6 \text{ кДж.}$$

**3.33.** Найдите количество теплоты, поглощаемой при окислении 56 г азота до оксида азота (II). Известно, что при окислении 1 моль азота поглощается 180,7 кДж теплоты.

Ответ: 361,4 кДж.

**3.34.** Какой объем водорода (н.у.) нужно сжечь, чтобы получить 2857,5 кДж теплоты? Известно, что при сгорании 1 моль водорода выделяется 285,75 кДж теплоты.

Ответ: 224 л.

**3.35.** Какую массу угля, содержащего 95 % углерода и инертные примеси, нужно сжечь, чтобы получить 3935 кДж теплоты? Известно, что при сгорании 1 моль углерода выделяется 393,5 кДж теплоты.

Ответ: 126,3 г.

**3.36.** Цинковую пластинку массой 20 г опустили в раствор соляной кислоты массой 100 г с массовой долей HCl 10 %. Выделившийся водород сожгли. Какую массу воды получили, если ее выход составил 90 % ?

**Решение.** Находим массу хлороводорода в растворе:

$$m(\text{HCl}) = (\omega(\text{HCl}) \cdot m(\text{р-ра})) / 100 \% ;$$

$$m(\text{HCl}) = (10 \cdot 100) / 100 = 10 \text{ г.}$$

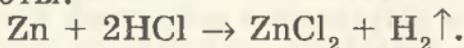
Вычисляем количество цинка и хлороводорода:

$$\nu(\text{Zn}) = m(\text{Zn}) / M(\text{Zn}); \nu(\text{Zn}) = 20 / 65 = 0,31 \text{ моль};$$

$$\nu(\text{HCl}) = m(\text{HCl}) / M(\text{HCl});$$

$$\nu(\text{HCl}) = 10 / 36,5 = 0,27 \text{ моль.}$$

Записываем реакцию взаимодействия цинка и соляной кислоты:



Определяем вещество, взятое в избытке. Согласно уравнению реакции

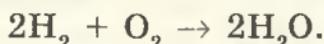
$$\nu(\text{HCl}) = 2\nu(\text{Zn}).$$

Следовательно, с 0,27 моль соляной кислоты проагирует 0,135 моль цинка. Таким образом, цинк находится в избытке. Расчеты проводим по хлороводороду.

Рассчитываем количество выделившегося водорода.  
Согласно уравнению реакции

$$v(\text{H}_2) = 0,5 \cdot v(\text{HCl}); v(\text{H}_2) = 0,5 \cdot 0,27 = 0,135 \text{ моль.}$$

Записываем уравнение реакции горения водорода:



Согласно уравнению реакции

$$v_{\text{теор}}(\text{H}_2\text{O}) = v(\text{H}_2); v_{\text{теор}}(\text{H}_2\text{O}) = 0,135 \text{ моль.}$$

Вычисляем теоретически возможную массу воды:

$$m_{\text{теор}}(\text{H}_2\text{O}) = v_{\text{теор}}(\text{H}_2\text{O}) \cdot M(\text{H}_2\text{O});$$

$$m_{\text{теор}}(\text{H}_2\text{O}) = 0,135 \cdot 18 = 2,43 \text{ г.}$$

Определяем практически полученную массу воды:

$$m_{\text{практ}}(\text{H}_2\text{O}) = (m_{\text{теор}}(\text{H}_2\text{O}) \cdot \eta)/100;$$

$$m_{\text{практ}}(\text{H}_2\text{O}) = (2,43 \cdot 90)/100 = 2,2.$$

**3.37.** К 100 г раствора нитрата серебра (массовая доля соли 3 %) добавили 10 г соляной кислоты (массовая доля HCl 15 %). В результате выпал осадок. Осадок отфильтровали и просушили. Определите массу осадка, если выход продукта реакции составил 95 %.

Ответ: 2,4 г.

**3.38.** При взаимодействии 25 г мела, содержащего 95 % карбоната кальция, с раствором серной кислоты массой 150 г с массовой долей  $\text{H}_2\text{SO}_4$  33,33 % получили 5 л (н.у.)  $\text{CO}_2$ . Определите выход продукта реакции.

Ответ: 94 %.

**3.39.** Сульфид натрия массой 7,8 г опустили в раствор серной кислоты массой 200 г с массовой долей  $\text{H}_2\text{SO}_4$  9,8 %. Выделившийся газ (выход продукта реакции равен 90 %) пропустили через раствор сульфата меди (II) (взят в избытке). Определите массу выпавшего осадка.

Ответ: 8,64 г.

**3.40.** Медь массой 3,2 г опустили в раствор серной кислоты массой 100 г с массовой долей  $\text{H}_2\text{SO}_4$  98 %.

Выделившийся газ (выход продукта равен 90 %) растворили в 100 г воды. Определите массовую долю (в процентах) кислоты в полученном растворе.

Ответ: 3,59 %.

**3.41.** Через раствор гидроксида кальция (массовая доля 3,9 %) массой 100 г пропустили 0,56 л (н.у.)  $\text{CO}_2$ . Выпавший осадок ( $\text{CaCO}_3$ ) прокалили. Масса остатка после прокаливания оказалась равной 1,2 г. Определите выход  $\text{CaCO}_3$  (в процентах) в первой реакции, если известно, что выход второй реакции является количественным (100 %).

**Решение.** Вычисляем массу гидроксида кальция в растворе:

$$m(\text{Ca}(\text{OH})_2) = \omega(\text{Ca}(\text{OH})_2) \cdot m(\text{р-ра})/100 \%;$$

$$m(\text{Ca}(\text{OH})_2) = (3,9 \cdot 100)/100 = 3,9 \text{ г.}$$

Определяем количества гидроксида кальция и оксида углерода:

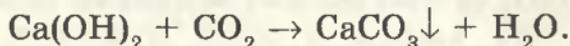
$$v(\text{Ca}(\text{OH})_2) = m(\text{Ca}(\text{OH})_2)/M(\text{Ca}(\text{OH})_2);$$

$$v(\text{Ca}(\text{OH})_2) = 3,9/74 = 0,053 \text{ моль};$$

$$v(\text{CO}_2) = V(\text{CO}_2)/22,4 \text{ л/моль};$$

$$v(\text{CO}_2) = 0,56/22,4 = 0,025 \text{ моль.}$$

Записываем уравнение реакции взаимодействия гидроксида кальция и оксида углерода:



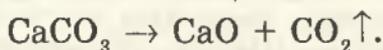
Определяем вещество, взятое в избытке. Согласно уравнению реакции с 0,025 моль оксида углерода прореагирует 0,025 моль гидроксида кальция. Следовательно, гидроксид кальция находится в избытке. Расчеты проводим по оксиду углерода.

Находим количество карбоната кальция при количественном (100%-ном) выходе. Согласно уравнению реакции

$$v_{\text{теор}}(\text{CaCO}_3) = v(\text{CO}_2);$$

$$v_{\text{теор}}(\text{CaCO}_3) = 0,025 \text{ моль.}$$

Записываем уравнение реакции термического разложения карбоната кальция:



Поскольку выход продукта в данной реакции

100% -ный, количество карбоната кальция, рассчитанное по данному уравнению реакции, будет являться практическим.

Рассчитываем количество оксида кальция:

$$v(\text{CaO}) = m(\text{CaO})/M(\text{CaO});$$

$$v(\text{CaO}) = 1,2/56 = 0,0214 \text{ моль.}$$

Согласно уравнению последней реакции

$$v_{\text{практ}} \text{CaCO}_3 = v(\text{CaO});$$

$$v_{\text{практ}}(\text{CaCO}_3) = 0,0214 \text{ моль.}$$

Вычисляем выход карбоната кальция в первой реакции:

$$\eta(\text{CaCO}_3) = \frac{v_{\text{практ}}(\text{CaCO}_3)}{v_{\text{теор}}(\text{CaCO}_3)} \cdot 100 \%;$$

$$\eta(\text{CaCO}_3) = \frac{0,0214}{0,025} \cdot 100 = 86 \%.$$

**3.42.** К 50 г раствора сульфата меди (II) (массовая доля соли 8 %) прибавили 80 г раствора гидроксида натрия (массовая доля NaOH 5 %). Выпавший осадок отфильтровали и прокалили. Масса остатка после прокаливания оказалась равной 1,75 г. Определите выход  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  (в процентах) в первой реакции, если известно, что выход второй реакции является количественным (100% -ный).

Ответ: 87,5 %.

**3.43.** К 200 г раствора сульфата цинка с массовой долей соли 3,22 % прибавили 150 г раствора сульфида натрия с массовой долей  $\text{Na}_2\text{S}$  3,9 %. К выпавшему осадку  $\text{ZnS}$  прилили избыток раствора азотной кислоты. В результате реакции выделился газ ( $\text{H}_2\text{S}$ ) объемом 0,56 л (н.у.). Определите выход  $\text{ZnS}$  (в процентах) в первой реакции, если известно, что выход сероводорода во второй реакции равен 90 %.

Ответ: 66 %.

**3.44.** Хлороводород, полученный в результате разложения хлорида аммония массой 5,63 г (выход равен 95 %), пропустили через раствор нитрата серебра

массой 70 г с массовой долей соли 3,4 %. В результате реакции получили осадок  $\text{AgCl}$  массой 1,6 г. Определите выход осадка (в процентах).

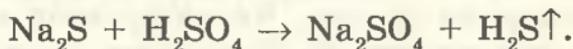
Ответ: 80 %.

**3.45.** Сероводород, полученный в результате взаимодействия 11 г сульфида калия с раствором  $\text{H}_2\text{SO}_4$  массой 110 г с массовой долей кислоты 10 % (выход 90 %), пропустили через раствор хлорида меди (II). В результате образовался осадок  $\text{CuS}$  массой 4,85 г. Определите массу хлорида меди (II) в растворе.

Ответ: 6,8 г.

**3.46.** К смеси, содержащей сульфид натрия и хлорид бария, добавили избыток серной кислоты. В результате реакции выделился газ объемом 2,24 л (н.у.) и выпал осадок массой 11,65 г. Определите массовую долю (в процентах) сульфида натрия в исходной смеси.

**Решение.** В данном случае газ ( $\text{H}_2\text{S}$ ) выделяется только при взаимодействии сульфида натрия с серной кислотой:



Определяем количество сероводорода:

$$v(\text{H}_2\text{S}) = V(\text{H}_2\text{S})/22,4 \text{ л/моль};$$

$$v(\text{H}_2\text{S}) = 2,24/22,4 = 0,1 \text{ моль}.$$

Согласно уравнению реакции

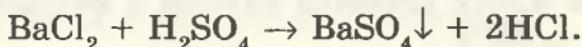
$$v(\text{Na}_2\text{S}) = v(\text{H}_2\text{S}); v(\text{Na}_2\text{S}) = 0,1 \text{ моль}.$$

Рассчитываем массу сульфида натрия:

$$m(\text{Na}_2\text{S}) = v(\text{Na}_2\text{S}) \cdot M(\text{Na}_2\text{S});$$

$$m(\text{Na}_2\text{S}) = 0,1 \cdot 78 = 7,8 \text{ г}.$$

Осадок ( $\text{BaSO}_4$ ) будет выпадать только при взаимодействии хлорида бария с серной кислотой:



Находим количество сульфата бария:

$$v(\text{BaSO}_4) = m(\text{BaSO}_4)/M(\text{BaSO}_4);$$

$$v(\text{BaSO}_4) = 11,65/233 = 0,05 \text{ моль}.$$

Согласно уравнению реакции

$$v(\text{BaCl}_2) = v(\text{BaSO}_4); v(\text{BaCl}_2) = 0,05 \text{ моль}.$$

Определяем массу хлорида бария:

$$m(\text{BaCl}_2) = \nu(\text{BaCl}_2) \cdot M(\text{BaCl}_2);$$

$$m(\text{BaCl}_2) = 0,05 \cdot 208 = 10,4 \text{ г.}$$

Масса исходной смеси равна сумме масс сульфида натрия и хлорида бария:

$$m(\text{смеси}) = m(\text{Na}_2\text{S}) + m(\text{BaCl}_2);$$

$$m(\text{смеси}) = 7,8 + 10,4 = 18,2 \text{ г.}$$

Вычисляем массовую долю сульфида натрия в исходной смеси:

$$\omega(\text{Na}_2\text{S}) = \frac{m(\text{Na}_2\text{S})}{m(\text{смеси})} \cdot 100 \%;$$

$$\omega(\text{Na}_2\text{S}) = \frac{7,8}{18,2} \cdot 100 = 42,9 \%.$$

**3.47.** Смесь, содержащую хлорид меди и хлорид бария, растворили в воде. Через раствор пропустили избыток сероводорода. В результате реакции выпал осадок массой 9,6 г. Затем к раствору добавили раствор сульфата натрия (взяв в избытке). И в этом случае выпал осадок, масса которого равна 23,3 г. Определите массовую долю (в процентах) хлорида бария в исходной смеси.

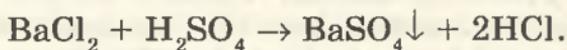
Ответ: 60,6 %.

**3.48.** Смесь массой 40,15 г, состоящую из хлоридов меди (II), бария и натрия, растворили в воде. К раствору добавили избыток гидроксида натрия. В результате реакции выпал осадок массой 9,8 г. В раствор после отделения осадка добавили еще раствор сульфата натрия (взяв в избытке). Выпал осадок массой 23,3 г. Определите массу хлорида натрия в исходной смеси.

Ответ: 5,85 г.

**3.49.** К раствору, содержащему соляную и серную кислоты, добавили избыток хлорида бария. В результате реакции выпал осадок массой 46,6 г. Определите массу соляной кислоты в исходном растворе, если известно, что на нейтрализацию такого же раствора кислот было затрачено 24 г гидроксида натрия.

**Решение.** В данном случае хлорид бария реагирует с образованием осадка ( $\text{BaSO}_4$ ) только с серной кислотой:



Согласно уравнению реакции

$$\nu(\text{H}_2\text{SO}_4) = \nu(\text{BaSO}_4).$$

Рассчитываем количество сульфата бария:

$$\nu(\text{BaSO}_4) = m(\text{BaSO}_4)/M(\text{BaSO}_4);$$

$$\nu(\text{BaSO}_4) = 46,6/233 = 0,2 \text{ моль},$$

значит,

$$\nu(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,2 \text{ моль}.$$

Определяем количество гидроксида натрия, затраченного на нейтрализацию серной кислоты. Реакция идет по схеме



Согласно уравнению реакции

$$\nu_1(\text{NaOH}) = 2\nu(\text{H}_2\text{SO}_4);$$

$$\nu_1(\text{NaOH}) = 2 \cdot 0,2 = 0,4 \text{ моль}.$$

Рассчитываем количество  $\text{NaOH}$ , затраченное на нейтрализацию обеих кислот:

$$\nu(\text{NaOH}) = m(\text{NaOH})/M(\text{NaOH});$$

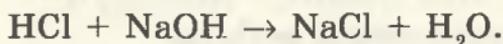
$$\nu(\text{NaOH}) = 24/40 = 0,6 \text{ моль}.$$

Находим количество гидроксида натрия, затраченного на нейтрализацию соляной кислоты:

$$\nu_2(\text{NaOH}) = \nu(\text{NaOH}) - \nu_1(\text{NaOH});$$

$$\nu_2(\text{NaOH}) = 0,6 - 0,4 = 0,2 \text{ моль}.$$

Запишем уравнение реакции взаимодействия соляной кислоты и гидроксида натрия:



Согласно уравнению реакции

$$\nu(\text{HCl}) = \nu_2(\text{NaOH}); \nu(\text{HCl}) = 0,2 \text{ моль}.$$

Определяем массу соляной кислоты:

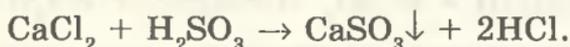
$$m(\text{HCl}) = \nu(\text{HCl}) \cdot M(\text{HCl}); m(\text{HCl}) = 0,2 \cdot 36,5 = 7,3 \text{ г}.$$

3.50. К раствору, содержащему соляную и азотную кислоты, добавили избыток нитрата серебра. В результате реакции выпал осадок массой 7,175 г. Определите массу азотной кислоты в исходном растворе, если известно, что при взаимодействии такого же раствора кислот с избытком карбоната натрия выделяется 0,84 л  $\text{CO}_2$  (н.у.).

Ответ: 1,575 г.

3.51. К раствору, содержащему соляную и сернистую кислоты, добавили избыток раствора хлорида кальция. В результате реакции выпал осадок массой 6 г. На нейтрализацию полученного раствора затратили 11,2 г гидроксида калия. Определите массу соляной кислоты в исходном растворе.

**Решение.** В данном случае хлорид кальция реагирует с образованием осадка ( $\text{CaSO}_3$ ) только с сернистой кислотой:



Определяем количество соляной кислоты, образовавшейся при взаимодействии хлорида кальция и сернистой кислоты.

Согласно уравнению реакции

$$v_1(\text{HCl}) = 2v(\text{CaSO}_3).$$

Рассчитываем количество сульфита кальция:

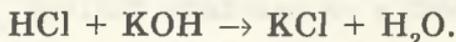
$$v(\text{CaSO}_3) = m(\text{CaSO}_3)/M(\text{CaSO}_3);$$

$$v(\text{CaSO}_3) = 6/120 = 0,05 \text{ моль}.$$

Тогда

$$v_1(\text{HCl}) = 2 \cdot 0,05 = 0,1 \text{ моль}.$$

Количество гидроксида кальция, затраченного на нейтрализацию образовавшейся соляной кислоты, определяем по уравнению



Согласно уравнению реакции

$$v_1(\text{KOH}) = v_1(\text{HCl}); v_1(\text{KOH}) = 0,1 \text{ моль}.$$

Рассчитываем количество гидроксида калия, затраченного на нейтрализацию соляной кислоты, содержащуюся в конечном растворе:

$$v(\text{KOH}) = m(\text{KOH})/M(\text{KOH});$$

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

Количество гидроксида калия, затраченного на нейтрализацию соляной кислоты, содержащейся в исходном растворе, равно разности количества гидроксида калия, затраченного на нейтрализацию конечного раствора, и образовавшейся соляной кислоты:

$$v_2(\text{KOH}) = v(\text{KOH}) - v_1(\text{KOH});$$

$$v_2(\text{KOH}) = 0,2 - 0,1 = 0,1 \text{ моль.}$$

Согласно последнему уравнению реакции количество соляной кислоты в исходном растворе равно количеству гидроксида калия, затраченного на ее нейтрализацию:

$$v_2(\text{HCl}) = v_2(\text{KOH}); v_2(\text{HCl}) = 0,1 \text{ моль.}$$

Находим массу соляной кислоты в исходном растворе:

$$m(\text{HCl}) = v_2(\text{HCl}) \cdot M(\text{HCl});$$

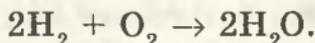
$$m(\text{HCl}) = 0,1 \cdot 36,5 = 3,65 \text{ г.}$$

**3.52.** К раствору, содержащему хлорид бария и хлорид калия, добавили раствор сульфата калия до прекращения выпадения осадка. В результате реакции выпал осадок массой 11,65 г. К полученному раствору добавили избыток раствора нитрата серебра. Выпал осадок  $\text{AgCl}$  массой 28,7 г. Определите массу хлорида калия в исходном растворе.

Ответ: 7,45 г.

**3.53.** Образец сплава лития и калия массой 4,6 г растворили в воде. Выделившийся водород сожгли. В результате реакции получили 1,8 г воды. Определите массу калия в сплаве.

**Решение.** Записываем уравнение реакции горения водорода:



Определяем количество водорода. Согласно уравнению реакции

$$v(\text{H}_2) = v(\text{H}_2\text{O}).$$

Рассчитываем количество воды:

$$v(\text{H}_2\text{O}) = m(\text{H}_2\text{O})/M(\text{H}_2\text{O});$$

$$v(\text{H}_2\text{O}) = 1,8/18 = 0,1 \text{ моль.}$$

Тогда

$$v(\text{H}_2) = 0,1 \text{ моль.}$$

Обозначив количество калия в образце  $x$ , можно определить массу калия по формуле

$$m(\text{K}) = v(\text{K}) \cdot M(\text{K}); m(\text{K}) = 39x.$$

Обозначив количество лития в образце  $y$ , получим массу лития, равную

$$m(\text{Li}) = v(\text{Li}) \cdot M(\text{Li}); m(\text{Li}) = 7y.$$

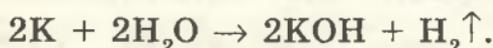
Известно, что масса образца равна 4,6 г:

$$m(\text{K}) + m(\text{Li}) = 4,6 \text{ г.}$$

Подставляем в уравнение значения масс калия и лития:

$$39x + 7y = 4,6. \quad (1)$$

Записываем уравнение реакции взаимодействия калия с водой:

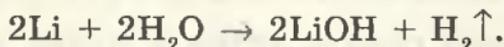


Выражаем количество выделившегося водорода в данной реакции.

Согласно уравнению реакции

$$v_1(\text{H}_2) = 0,5v(\text{K}); v_1(\text{H}_2) = 0,5x.$$

Записываем уравнение реакции взаимодействия лития с водой:



Выражаем количество водорода, образовавшегося в результате данной реакции. Согласно уравнению реакции

$$v_2(\text{H}_2) = 0,5v(\text{Li}); v_2(\text{H}_2) = 0,5y.$$

Нами определено, что общее количество водорода, выделившегося при взаимодействии калия и лития с водой, равно 0,1 моль:

$$v_1(\text{H}_2) + v_2(\text{H}_2) = 0,1 \text{ моль.}$$

Подставим в данное уравнение значение количества водорода:

$$0,5x + 0,5y = 0,1. \quad (2)$$

Составим систему из уравнений (1) и (2):

$$\begin{cases} 39x + 7y = 4,6, \\ 0,5x + 0,5y = 0,1. \end{cases}$$

Решив систему, получим  $x = 0,1$ ,  $y = 0,1$ .

Нами принято, что  $x$  — это количество калия в образце. Значит, в образце содержится 0,1 моль калия.

Находим массу калия:

$$m(\text{K}) = 39x; m(\text{K}) = 0,1 \cdot 39 = 3,9 \text{ г.}$$

**3.54.** Образец кальция и натрия массой 6,3 г растворили в воде. Полученный раствор нейтрализовали азотной кислотой. Для нейтрализации потребовалось 18,9 г  $\text{HNO}_3$ . Определите массу натрия в сплаве.

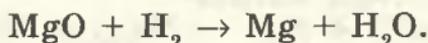
Ответ: 2,3 г.

**3.55.** Образец кальция и бария массой 17,7 г растворили в воде. Полученный раствор нейтрализовали соляной кислотой. Для нейтрализации потребовалось 14,6 г  $\text{HCl}$ . Определите массу кальция в сплаве.

Ответ: 4 г.

**3.56.** Образец оксида магния массой 40 г ( $m_1$ ) частично восстановили водородом. После реакции суммарная масса  $\text{Mg}$  и  $\text{MgO}$  ( $m_2$ ) составила 32 г. Определите массу полученного магния.

**Решение.** Записываем уравнение реакции:



Согласно уравнению реакции разность  $m_1$  и  $m_2$  будет равна массе кислорода в составе оксида магния, вступившего в реакцию с водородом:

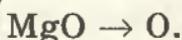
$$m(\text{O}) = m_1 - m_2 = 40 - 32 = 8 \text{ г.}$$

Рассчитываем количество кислорода в составе прореагировавшего оксида магния:

$$v(\text{O}) = m(\text{O})/M(\text{O}); v(\text{O}) = 8/16 = 0,5 \text{ моль.}$$

Определяем количество прореагировавшего оксида магния.

Записываем схему



Согласно схеме

$$v(\text{MgO}) = v(\text{O}); v(\text{MgO}) = 0,5 \text{ моль.}$$

Определяем количество восстановленного магния.  
Согласно уравнению реакции:

$$\nu(\text{Mg}) = \nu(\text{MgO}); \nu(\text{Mg}) = 0,5 \text{ моль.}$$

Рассчитываем массу полученного магния:

$$m(\text{Mg}) = \nu(\text{Mg}) \cdot M(\text{Mg});$$

$$m(\text{Mg}) = 0,5 \cdot 24 = 12 \text{ г.}$$

**3.57.** Образец оксида железа (II) массой 80 г частично восстановили оксидом углерода (II). После реакции суммарная масса Fe и FeO составила 72 г. Определите массу полученного железа.

Ответ: 28 г.

**3.58.** Через раствор, содержащий 4 г гидроксида натрия, пропустили 2,55 г сероводорода. Определите количество вещества образовавшегося гидросульфида натрия.

**Решение.** Определяем количества гидроксида натрия и сероводорода:

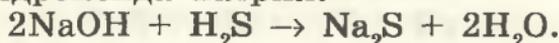
$$\nu(\text{NaOH}) = m(\text{NaOH})/M(\text{NaOH});$$

$$\nu(\text{NaOH}) = 4/40 = 0,1 \text{ моль};$$

$$\nu(\text{H}_2\text{S}) = m(\text{H}_2\text{S})/M(\text{H}_2\text{S});$$

$$\nu(\text{H}_2\text{S}) = 2,55/34 = 0,075 \text{ моль.}$$

Рассчитываем количество сероводорода, необходимое для получения сульфида натрия из 0,1 моль гидроксида натрия:



Согласно уравнению реакции

$$\nu_1(\text{H}_2\text{S}) = 0,5\nu(\text{NaOH});$$

$$\nu_1(\text{H}_2\text{S}) = 0,5 \cdot 0,1 = 0,05 \text{ моль.}$$

Находим количество сульфида натрия, которое можно получить при 100%-ном выходе из 0,1 моль гидроксида натрия.

Согласно уравнению реакции

$$\nu(\text{Na}_2\text{S}) = 0,5 \nu(\text{NaOH});$$

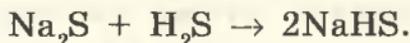
$$\nu_1(\text{Na}_2\text{S}) = 0,5 \cdot 0,1 = 0,05 \text{ моль.}$$

Нами определено, что из 0,1 моль гидроксида натрия можно получить 0,05 моль сульфида натрия, для этого потребуется 0,05 моль сероводорода. Через раствор гидроксида натрия пропустили 0,075 моль

сероводорода. Следовательно, сероводород взят в избытке. Избыток сероводорода равен:

$$v_2(\text{H}_2\text{S}) = v(\text{H}_2\text{S}) - v_1(\text{H}_2\text{S});$$
$$v_2(\text{H}_2\text{S}) = 0,075 - 0,05 = 0,025 \text{ моль.}$$

Избыток сероводорода будет взаимодействовать с полученным сульфидом натрия с образованием кислой соли:



С 0,025 моль сероводорода согласно уравнению прореагирует 0,025 моль сульфида натрия. Следовательно, сульфид натрия взят в избытке, расчет проводим по сероводороду.

Согласно уравнению реакции

$$v(\text{NaHS}) = 2 v_2(\text{H}_2\text{S});$$
$$v(\text{NaHS}) = 2 \cdot 0,025 = 0,05 \text{ моль.}$$

**3.59.** К раствору, содержащему 5,6 г гидроксида калия, добавили 7,35 г серной кислоты. Определите количество вещества образовавшегося гидросульфата калия.

Ответ: 0,05 моль.

**3.60.** Через раствор, содержащий 7,4 г гидроксида кальция, пропустили 6,6 г оксида углерода (IV). Определите количество вещества образовавшегося осадка.

Ответ: 0,05 моль.

## Глава 4. СТРОЕНИЕ АТОМА

### 4.1. СОСТАВ АТОМА, СТРОЕНИЕ ЭЛЕКТРОННОЙ ОБОЛОЧКИ АТОМА

**4.1.** Определите число электронов, протонов и нейтронов в составе атома кислорода.

**Решение.** Число электронов и протонов в составе атома химического элемента равно порядковому номеру химического элемента (или заряду ядра атома).

Порядковый номер кислорода равен 8. Следовательно, число электронов и протонов в составе атома кислорода равно 8.

Число нейтронов в составе атома химического элемента равно разности относительной атомной массы данного элемента и числа протонов в составе этого атома.

Рассчитываем число нейтронов в составе атома кислорода:

$$16 - 8 = 8.$$

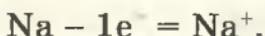
Значит, в состав атома кислорода входит 8 нейтронов.

4.2. Найдите число электронов, протонов и нейтронов в составе атомов калия, брома, серебра.

4.3. Определите число электронов, протонов и нейтронов в составе иона  $\text{Na}^+$ .

**Решение.** Порядковый номер натрия равен 11. Следовательно, число электронов и протонов в составе атома натрия равно 11.

Рассчитываем число нейтронов в составе атома натрия:  $23 - 11 = 12$ . В состав ядра атома входит 12 нейтронов. При образовании иона атом натрия отдает 1 электрон:



Следовательно, число электронов в составе иона  $\text{Na}^+$  на единицу меньше числа электронов в составе атома натрия и равно 10.

Число протонов и нейтронов в составе иона равно числу протонов и нейтронов в составе атома.

4.4. Определите число электронов, протонов и нейтронов в составе ионов  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{S}^{2-}$ .

4.5. Составьте электронную формулу строения атома кислорода.

**Решение.** Порядковый номер кислорода равен 8. Следовательно, в состав его атома входит 8 электронов.

Электронная формула строения атома кислорода будет иметь следующий вид:  $1s^2 2s^2 2p^4$ .

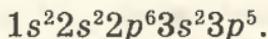
4.6. Составьте электронные формулы строения атомов хлора, кальция, железа, цинка.

4.7. Составьте электронные формулы строения атомов брома, технеция, олова, европия, тербия.

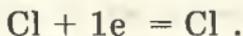
4.8. Составьте электронную формулу строения иона  $\text{Cl}^-$ .

**Решение.** Порядковый номер хлора равен 17. Следовательно, его электронное облако образовано 17 электронами.

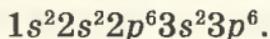
Электронная формула атома хлора имеет следующий вид:



При образовании иона  $\text{Cl}^-$  атом хлора принимает 1 электрон:



Следовательно, в состав иона будет входить 18 электронов. Электронная формула иона  $\text{Cl}^-$  имеет следующий вид:



**4.9.** Составьте электронные формулы строения ионов  $\text{S}^{2-}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ .

**4.10.** Химический элемент на  $p$ -орбиталях второго электронного уровня имеет четыре электрона. Определите элемент, составьте электронную формулу строения его атома.

**Решение.**  $p$ -Орбитали второго электронного уровня ( $2p$ ) заполняются электронами после заполнения  $1s$ - и  $2s$ -орбиталей. Следовательно, электронная формула имеет следующий вид:  $1s^2 2s^2 2p^4$ . Такую электронную формулу имеет кислород.

**4.11.** Атом химического элемента на  $p$ -орбиталях третьего электронного уровня имеет 3 электрона. Составьте электронную формулу элемента.

**4.12.** Атом химического элемента на третьем электронном уровне имеет 3 электрона. Составьте электронную формулу элемента.

**4.13.** Атом химического элемента на четвертом электронном уровне имеет 4 электрона. Составьте электронную формулу элемента.

**4.14.** Атом химического элемента на пятом электронном уровне имеет 7 электронов. Составьте электронную формулу элемента.

**4.15.** Атом химического элемента на  $d$ -орбиталях третьего электронного уровня имеет 7 электронов. Составьте электронную формулу элемента.

4.16. Атом химического элемента на  $d$ -орбиталях четвертого электронного уровня имеет 1 электрон. Составьте электронную формулу элемента.

4.17. Атом химического элемента на третьем электронном уровне имеет 14 электронов. Составьте электронную формулу элемента.

4.18. Атом химического элемента на четвертом электронном уровне имеет 9 электронов. Составьте электронную формулу элемента.

4.19. Атом химического элемента на  $f$ -орбиталях четвертого электронного уровня имеет 6 электронов. Составьте электронную формулу элемента.

## 4.2. ИЗОТОПЫ

4.20. Природный хлор имеет два изотопа —  $^{35}\text{Cl}$  и  $^{37}\text{Cl}$ . Определите среднюю относительную атомную массу хлора. Молярная доля  $^{35}\text{Cl}$  равна 75 %,  $^{37}\text{Cl}$  — 25 %.

**Решение.** Выбираем образец природного хлора количеством вещества 1 моль.

Рассчитываем количество вещества  $^{35}\text{Cl}$  и  $^{37}\text{Cl}$  в образце:

$$\nu(^{35}\text{Cl}) = (\chi(^{35}\text{Cl}) \cdot \nu(\text{образца}))/100 \%;$$

$$\nu(^{35}\text{Cl}) = (75 \cdot 1)/100 = 0,75 \text{ моль};$$

$$\nu(^{37}\text{Cl}) = (\chi(^{37}\text{Cl}) \cdot \nu(\text{образца}))/100 \%;$$

$$\nu(^{37}\text{Cl}) = (25 \cdot 1)/100 = 0,25 \text{ моль}.$$

Вычисляем массу  $^{35}\text{Cl}$  в образце:

$$m(^{35}\text{Cl}) = \nu(^{35}\text{Cl}) \cdot M(^{35}\text{Cl});$$

$$m(^{35}\text{Cl}) = 0,75 \cdot 35 = 26,25 \text{ г}.$$

Находим массу  $^{37}\text{Cl}$  в образце:

$$m(^{37}\text{Cl}) = \nu(^{37}\text{Cl}) \cdot M(^{37}\text{Cl});$$

$$m(^{37}\text{Cl}) = 0,25 \cdot 37 = 9,25 \text{ г}.$$

Масса образца будет равна сумме масс изотопов хлора:

$$m(\text{Cl}) = m(^{35}\text{Cl}) + m(^{37}\text{Cl});$$

$$m(\text{Cl}) = 26,25 + 9,25 = 35,5 \text{ г}.$$

Определяем среднюю молярную массу природного хлора:

$$M(\text{Cl}) = m(\text{Cl})/v(\text{Cl});$$
$$M(\text{Cl}) = 35,5/1 = 35,5 \text{ г/моль.}$$

Следовательно, средняя относительная атомная масса природного хлора равна 35,5.

**4.21.** Образец водорода содержит 2 изотопа —  $^3\text{H}$  и  $^1\text{H}$ . Определите среднюю относительную атомную массу водорода в образце. Молярная доля  $^3\text{H}$  равна 40 %,  $^1\text{H}$  — 60 %.

Ответ: 1,8.

**4.22.** Образец кислорода содержит 3 изотопа —  $^{18}\text{O}$ ,  $^{17}\text{O}$  и  $^{16}\text{O}$ . Определите среднюю относительную атомную массу кислорода в образце. Молярные доли  $^{18}\text{O}$ ,  $^{17}\text{O}$  и  $^{16}\text{O}$  в образце соответственно равны 25, 50 и 25 %.

Ответ: 17.

**4.23.** Образец углерода содержит 2 изотопа —  $^{12}\text{C}$  и  $^{14}\text{C}$ . Средняя относительная атомная масса углерода в образце равна 12,5. Определите молярную долю (в процентах)  $^{14}\text{C}$  в образце.

**Решение.** Выбираем образец углерода количеством вещества, равным 1 моль.

Определяем массу углерода:

$$m(\text{C}) = M(\text{C}) \cdot v(\text{C}); m(\text{C}) = 12,5 \cdot 1 = 12,5 \text{ г.}$$

Если принять  $x$  — количество  $^{14}\text{C}$  в образце, тогда количество  $^{12}\text{C}$  в образце будет равно  $(1-x)$ .

Выражаем массы изотопов в образце:

$$m(^{14}\text{C}) = v(^{14}\text{C}) \cdot M(^{14}\text{C}); m(^{14}\text{C}) = x \cdot 14;$$

$$m(^{12}\text{C}) = v(^{12}\text{C}) \cdot M(^{12}\text{C}); m(^{12}\text{C}) = (1-x) \cdot 12.$$

Известно, что

$$m(^{14}\text{C}) + m(^{12}\text{C}) = 12,5 \text{ г.}$$

Переписываем уравнение, подставляя в уравнение значения масс изотопов:

$$x \cdot 14 + (1 - x) \cdot 12 = 12,5.$$

Решаем уравнение:

$$x = 0,25; v(^{14}\text{C}) = 0,25 \text{ моль.}$$

Рассчитываем молярную долю  $^{14}\text{C}$  в образце:

$$\chi(^{14}\text{C}) = \frac{\nu(^{14}\text{C})}{\nu(\text{образца})} \cdot 100 \%;$$

$$\chi(^{14}\text{C}) = \frac{0,25}{1} \cdot 100 = 25 \%.$$

4.24. Образец фосфора содержит 2 изотопа —  $^{31}\text{P}$  и  $^{33}\text{P}$ . Средняя относительная атомная масса фосфора в образце равна 31,2. Определите молярную долю  $^{33}\text{P}$  в образце.

Ответ: 10 %.

4.25. Образец оксида углерода (II) (н.у.) занимает объем, равный 2,24 л. Масса образца равна 2,85 г. Углерод в составе оксида представлен одним изотопом  $^{12}\text{C}$ , кислород — двумя изотопами —  $^{16}\text{O}$  и  $^{18}\text{O}$ . Определите молярную долю (в процентах)  $\text{C}^{18}\text{O}$  в образце.

Ответ: 25 %.

4.26. Образец метана ( $\text{CH}_4$ ) (н.у.) занимает объем, равный 4,48 л. Масса образца равна 3,4 г. Углерод в составе метана представлен двумя изотопами —  $^{12}\text{C}$  и  $^{14}\text{C}$ , водород — одним изотопом  $^1\text{H}$ . Определите массовую долю (в процентах)  $^{14}\text{CH}_4$  в образце.

Ответ: 53 %.

4.27. Массовая доля  $^2\text{H}$  в составе смеси  $^2\text{H}^{35}\text{Cl}$  и  $^1\text{H}^{35}\text{Cl}$  равна 4 %. Определите массовую долю (в процентах)  $^1\text{H}$  в смеси.

Ответ: 0,72 %.

4.28. Массовая доля водорода в составе смеси  $^{12}\text{CH}_4$  и  $^{14}\text{CH}_4$  равна 23 %. Определите массовую долю (в процентах)  $^{12}\text{C}$  в смеси.

**Решение.** Для расчетов принимаем образец смеси массой 100 г.

Рассчитываем массу водорода в составе образца:

$$m(\text{H}) = (\omega(\text{H}) \cdot m(\text{образца}))/100 \%;$$

$$m(\text{H}) = (23 \cdot 100)/100 = 23 \text{ г.}$$

Масса углерода в составе образца равна разнице масс образца и водорода:

$$m(\text{C}) = 100 - 23 = 77 \text{ г.}$$

Находим количество атомарного водорода в смеси:

$$\nu(\text{H}) = m(\text{H})/M(\text{H}); \nu(\text{H}) = 23/1 = 23 \text{ моль.}$$

Определяем количество углерода в образце. Из формулы  $\text{CH}_4$  следует, что

$$\nu(\text{C}) = 0,25\nu(\text{H}); \nu(\text{C}) = 0,25 \cdot 23 = 5,75 \text{ моль.}$$

Если массу  $^{12}\text{C}$  в образце обозначить  $y$ , тогда масса  $^{14}\text{C}$  в образце равна  $(77 - y)$ .

Выражаем количества  $^{12}\text{C}$  и  $^{14}\text{C}$  в образце:

$$\nu(^{12}\text{C}) = m(^{12}\text{C})/M(^{12}\text{C}); \nu(^{12}\text{C}) = y/12;$$

$$\nu(^{14}\text{C}) = m(^{14}\text{C})/M(^{14}\text{C}); \nu(^{14}\text{C}) = (77 - y)/14.$$

Нами определено  $\nu(\text{C}) = 5,75$  моль.

Количество углерода в образце равно сумме количеств изотопов углерода:

$$\nu(\text{C}) = \nu(^{12}\text{C}) + \nu(^{14}\text{C}); \nu(^{12}\text{C}) + \nu(^{14}\text{C}) = 5,75 \text{ моль.}$$

В последнее уравнение подставляем значения количеств изотопов углерода:

$$y/12 + (77 - y)/14 = 5,75.$$

Решаем уравнение и получаем  $y = 21$  г;

$$m(^{12}\text{C}) = 21 \text{ г.}$$

Определяем массовую долю  $^{12}\text{C}$  в смеси:

$$\omega(^{12}\text{C}) = \frac{m(^{12}\text{C})}{m(\text{образца})} \cdot 100 \%;$$

$$\omega(^{12}\text{C}) = \frac{21}{100} \cdot 100 = 21 \%.$$

**4.29.** Массовая доля кальция в составе смеси  $\text{Ca}^{16}\text{O}$  и  $\text{Ca}^{18}\text{O}$  равна 70 %. Определите массовую долю (в процентах)  $^{16}\text{O}$  в смеси.

Ответ: 12 %.

### 5.1. МАССОВАЯ ДОЛЯ РАСТВОРЕННОГО ВЕЩЕСТВА

**5.1.** Какой объем хлороводорода (н.у.) нужно взять для приготовления 40 г раствора с массовой долей HCl 10 % ?

**Решение.** Рассчитываем массу хлороводорода в растворе:

$$m(\text{HCl}) = (\omega(\text{HCl}) \cdot m(\text{р-ра}))/100 \% ;$$

$$m(\text{HCl}) = (10 \cdot 40)/100 = 4 \text{ г.}$$

Вычисляем количество хлороводорода:

$$v(\text{HCl}) = m(\text{HCl})/M(\text{HCl});$$

$$v(\text{HCl}) = 4/36,5 = 0,11 \text{ моль.}$$

Определяем объем хлороводорода при н.у.:

$$V(\text{HCl}) = v(\text{HCl}) \cdot 22,4 \text{ л/моль};$$

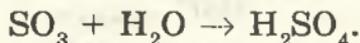
$$V(\text{HCl}) = 0,11 \cdot 22,4 = 2,46 \text{ л.}$$

**5.2.** Какой объем аммиака (н.у.) нужно взять для приготовления 70 г раствора с массовой долей  $\text{NH}_3$  8 % ?

Ответ: 7,38 л.

**5.3.** В воде массой 76 г растворили 4 г оксида серы (VI). Определите массовую долю (в процентах) серной кислоты в полученном растворе.

**Решение.** При растворении оксида серы в воде будет происходить следующая реакция:



Согласно уравнению реакции

$$v(\text{H}_2\text{SO}_4) = v(\text{SO}_3).$$

Рассчитываем количество оксида серы:

$$v(\text{SO}_3) = m(\text{SO}_3)/M(\text{SO}_3); v(\text{SO}_3) = 4/80 = 0,05 \text{ моль.}$$

Тогда

$$v(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,05 \text{ моль.}$$

Определяем массу серной кислоты:

$$m(\text{H}_2\text{SO}_4) = v(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot M(\text{H}_2\text{SO}_4);$$

$$m(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,05 \cdot 98 = 4,9 \text{ г.}$$

Масса раствора равна сумме масс воды и растворенного в ней оксида серы:

$$m(\text{р-ра}) = m(\text{H}_2\text{O}) + m(\text{SO}_3);$$

$$m(\text{р-ра}) = 76 + 4 = 80 \text{ г.}$$

Находим массовую долю  $\text{H}_2\text{SO}_4$  в растворе:

$$\omega(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{m(\text{H}_2\text{SO}_4)}{m(\text{р-ра})} \cdot 100 \%;$$

$$\omega(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{4,9}{80} \cdot 100 = 6,125 \%.$$

**5.4.** В воде массой 50 г растворили 5,6 л (н.у.) оксида серы (IV). Определите массовую долю (в процентах) сернистой кислоты в полученном растворе.

Ответ: 31 %.

**5.5.** Какую массу натрия нужно взять для приготовления водного раствора гидроксида натрия массой 80 г с массовой долей NaOH 10 %?

Ответ: 4,6 г.

**5.6.** Определите, какие массы оксида углерода (IV), раствора гидроксида натрия с массовой долей NaOH 20 % и воды нужно взять для приготовления раствора карбоната натрия массой 50 г с массовой долей  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  5,3 %. В ответе укажите массу воды.

Ответ: 38,9 г.

**5.7.** Определите, какие массы раствора фтороводородной кислоты с массовой долей HF 20 %, раствора гидроксида натрия с массовой долей NaOH 10 % и воды нужно взять для приготовления раствора фторида натрия массой 40 г с массовой долей NaF 5,25 %. В ответе укажите массу воды.

Ответ: 15 г.

**5.8.** Определите, какие массы кристаллического карбоната лития, раствора соляной кислоты с массовой долей HCl 10 % и воды нужно взять для приготовления раствора хлорида лития массой 30 г с массовой долей LiCl 10 %.

**Решение:** Рассчитываем массу хлорида лития в растворе:

$$m(\text{LiCl}) = (\omega(\text{LiCl}) \cdot m(\text{р-ра LiCl})/100 \% ;$$

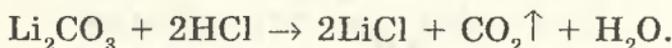
$$m(\text{LiCl}) = (10 \cdot 30)/100 = 3 \text{ г.}$$

Вычисляем количество хлорида лития:

$$v(\text{LiCl}) = m(\text{LiCl})/M(\text{LiCl});$$

$$v(\text{LiCl}) = 3/42,5 = 0,071 \text{ моль.}$$

При приготовлении раствора хлорид лития образуется в результате взаимодействия карбоната лития и соляной кислоты:



Определяем количества карбоната лития и соляной кислоты, необходимые для приготовления требуемого раствора. Согласно уравнению реакции:

$$v(\text{HCl}) = v(\text{LiCl}); v(\text{HCl}) = 0,071 \text{ моль};$$

$$v(\text{Li}_2\text{CO}_3) = 0,5 v(\text{LiCl});$$

$$v(\text{Li}_2\text{CO}_3) = 0,5 \cdot 0,071 \text{ моль} = 0,0355 \text{ моль.}$$

Рассчитываем массу HCl:

$$m(\text{HCl}) = v(\text{HCl}) \cdot M(\text{HCl});$$

$$m(\text{HCl}) = 0,071 \cdot 36,5 = 2,59 \text{ г.}$$

Рассчитываем массу  $\text{Li}_2\text{CO}_3$ :

$$m(\text{Li}_2\text{CO}_3) = v(\text{Li}_2\text{CO}_3) \cdot M(\text{Li}_2\text{CO}_3);$$

$$m(\text{Li}_2\text{CO}_3) = 0,0355 \cdot 74 = 2,63 \text{ г.}$$

Вычисляем массу раствора соляной кислоты с массовой долей HCl 10 %:

$$m(\text{р-ра HCl}) = \frac{m(\text{HCl})}{\omega(\text{HCl})} \cdot 100 \% ;$$

$$m(\text{р-ра HCl}) = \frac{2,59}{10} \cdot 100 = 25,9 \text{ г.}$$

Поскольку оксид углерода выделяется в виде газа, его массу необходимо учесть при расчете массы воды, которую необходимо добавить при приготовлении раствора.

Определяем количество выделившегося оксида углерода (IV) в результате реакции. Согласно уравнению реакции

$$\nu(\text{CO}_2) = \nu(\text{Li}_2\text{CO}_3); \nu(\text{CO}_2) = 0,0355 \text{ моль.}$$

Находим массу оксида углерода:

$$m(\text{CO}_2) = \nu(\text{CO}_2) \cdot M(\text{CO}_2);$$

$$m(\text{CO}_2) = 0,0355 \cdot 44 = 1,56 \text{ г.}$$

Рассчитываем массу воды:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = m(\text{р-ра LiCl}) - m(\text{Li}_2\text{CO}_3) - m(\text{р-ра HCl}) + m(\text{CO}_2);$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 30 - 2,63 - 25,9 + 1,56 = 3,03 \text{ г.}$$

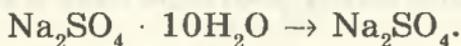
**5.9.** Определите, какие массы кристаллического сульфида натрия, раствора серной кислоты с массовой долей  $\text{H}_2\text{SO}_4$  10,5 % и воды нужно взять для приготовления раствора сульфата натрия массой 200 г с массовой долей  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  14,2 %. В ответе укажите массу воды.

Ответ: 4,5 г.

**5.10.** При упаривании раствора сульфата натрия массой 150 г получили 16,1 г кристаллогидрата  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ .

Определите массовую долю  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  в исходном растворе.

**Решение.** Записываем схему:



Согласно схеме

$$\nu(\text{Na}_2\text{SO}_4) = \nu(\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}).$$

Определяем количество кристаллогидрата:

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

$$\nu(\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = 16,1 / 322 = 0,05 \text{ моль.}$$

Тогда

$$\nu(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 0,05 \text{ моль.}$$

Рассчитываем массу сульфата натрия:

$$m(\text{Na}_2\text{SO}_4) = \nu(\text{Na}_2\text{SO}_4) \cdot M(\text{Na}_2\text{SO}_4);$$

$$m(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 0,05 \cdot 142 = 7,1 \text{ г.}$$

Находим массовую долю сульфата натрия в растворе:

$$\omega(\text{Na}_2\text{SO}_4) = \frac{m(\text{Na}_2\text{SO}_4)}{m(\text{p-ра})} \cdot 100 \%;$$

$$\omega(\text{Na}_2\text{SO}_4) = \frac{7,1}{150} \cdot 100 = 4,7 \%.$$

**5.11.** Какую массу  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  нужно взять для приготовления раствора  $\text{MgCl}_2$  массой 140 г с массовой долей соли 4,75 %?

Ответ: 14,21 г.

**5.12.** Какую массу воды нужно взять для приготовления раствора  $\text{CH}_3\text{COONa}$  (массовая доля соли — 8,2 %) массой 200 г из  $\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  и воды?

Ответ: 172,8 г.

**5.13.** Какую массу воды нужно добавить к раствору  $\text{NaCl}$  массой 125 г с массовой долей соли 8 %, чтобы получить раствор этой соли с массовой долей 5 %?

**Решение.** Определяем массу соли в растворе с массовой долей  $\text{NaCl}$  8 %:

$$m(\text{NaCl}) = (\omega(\text{NaCl}) \cdot m(\text{p-ра}))/100 \%;$$

$$m(\text{NaCl}) = (8 \cdot 125)/100 = 10 \text{ г.}$$

Рассчитываем массу раствора соли с массовой долей  $\text{NaCl}$  5 %:

$$m(\text{p-ра}) = \frac{m(\text{NaCl})}{\omega(\text{NaCl})} \cdot 100 \%;$$

$$m(\text{p-ра}) = \frac{10}{5} \cdot 100 = 200 \text{ г.}$$

Масса добавляемой воды равна разнице масс конечного и исходного растворов:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = m(5\% \text{-ный p-p}) - m(8\% \text{-ный p-p});$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 200 - 125 = 75 \text{ г.}$$

**5.14.** Какую массу воды нужно добавить к раствору серной кислоты массой 40 г с массовой долей кислоты

20 %, чтобы получить раствор кислоты с массовой долей  $\text{H}_2\text{SO}_4$  8 %?

Ответ: 60 г.

**5.15.** Какую массу раствора гидроксида калия с массовой долей KOH 20 % нужно добавить к 80 г  $\text{H}_2\text{O}$ , чтобы получить раствор гидроксида калия с массовой долей щелочи 8 %?

**Решение.** Обозначаем массу раствора гидроксида калия (массовая доля 20 %)  $x$ .

Выражаем массу гидроксида калия в растворе массой  $x$ :

$$m(\text{KOH}) = (\omega(\text{KOH}) \cdot m(\text{р-ра}))/100 \%;$$

$$m(\text{KOH}) = (20 \cdot x)/100 = 0,2 x.$$

По условию задачи массовая доля KOH в составе нового раствора равна 8 %. Его масса будет равна сумме масс раствора гидроксида калия с массовой долей KOH 20 % и воды:

$$m(8\% \text{-ный р-р}) = m(20\% \text{-ный р-р}) + m(\text{H}_2\text{O});$$

$$m(8\% \text{-ный р-р}) = x + 80.$$

В уравнение

$$\omega(\text{KOH}) = \frac{m(\text{KOH})}{m(8\% \text{-ный р-р})} \cdot 100 \%$$

подставим известные значения:

$$8 \% = \frac{0,2x}{x + 80} \cdot 100 \%$$

Решаем уравнение:

$$x = 53,3 \text{ г}; m(20\% \text{-ный р-р}) = 53,3 \text{ г}.$$

**5.16.** Какую массу раствора соляной кислоты с массовой долей HCl 30 % нужно добавить к 70 г  $\text{H}_2\text{O}$ , чтобы получить раствор соляной кислоты с массовой долей HCl 10%?

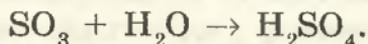
Ответ: 35 г.

**5.17.** Какой объем раствора карбоната натрия (плотность равна 1,16 г/мл, массовая доля соли — 15 %) нужно добавить к 90 г  $\text{H}_2\text{O}$ , чтобы получить раствор  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  с массовой долей соли 10 %?

Ответ: 155 мл.

**5.18.** Какую массу  $\text{SO}_3$  нужно растворить в 100 г воды, чтобы получить раствор серной кислоты с массовой долей  $\text{H}_2\text{SO}_4$  49 %?

**Решение.** При растворении оксида серы (VI) в воде образуется серная кислота:



Обозначим количество оксида серы, необходимое для получения кислоты,  $x$ .

Согласно уравнению реакции

$$\nu(\text{H}_2\text{SO}_4) = \nu(\text{SO}_3); \nu(\text{H}_2\text{SO}_4) = x.$$

Выражаем массы оксида серы и серной кислоты:

$$m(\text{SO}_3) = \nu(\text{SO}_3) \cdot M(\text{SO}_3);$$

$$m(\text{SO}_3) = 80x;$$

$$m(\text{H}_2\text{SO}_4) = \nu(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot M(\text{H}_2\text{SO}_4);$$

$$m(\text{H}_2\text{SO}_4) = 98x.$$

Подставив в уравнение

$$\omega(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{m(\text{H}_2\text{SO}_4)}{m(\text{H}_2\text{O}) + m(\text{SO}_3)} \cdot 100 \%$$

известные значения, получаем

$$49 = \frac{98x}{100 + 80x} \cdot 100.$$

Решаем уравнение:

$$x = 0,83 \text{ моль}; \nu(\text{SO}_3) = 0,83 \text{ моль}.$$

Рассчитываем массу оксида серы:

$$m(\text{SO}_3) = \nu(\text{SO}_3) \cdot M(\text{SO}_3);$$

$$m(\text{SO}_3) = 80 \cdot 0,83 = 66,4 \text{ г}.$$

**5.19.** Какой объем (н.у.)  $\text{SO}_2$  нужно растворить в 200 г воды, чтобы получить раствор сернистой кислоты с массовой долей  $\text{H}_2\text{SO}_3$  20,5 %?

Ответ: 13,44 л.

**5.20.** Какую массу хлороводорода нужно растворить в воде для приготовления 200 мл раствора соляной кислоты с массовой долей  $\text{HCl}$  20 % (плотность 1,1 г/мл)?

Ответ: 44 г.

**5.21.** Какую массу гидроксида натрия нужно взять для приготовления 100 мл раствора гидроксида натрия с массовой долей NaOH 9 % (плотность 1,1 г/мл)?

Ответ: 9,9 г.

**5.22.** Какой объем раствора азотной кислоты (плотность — 1,48 г/мл, массовая доля кислоты — 86 %) нужно взять для приготовления 100 мл раствора  $\text{HNO}_3$  с массовой долей кислоты 32 % (плотность раствора — 1,2 г/мл)?

**Решение.** Рассчитываем массу раствора  $\text{HNO}_3$  с массовой долей кислоты 32 %:

$$m = V \cdot \rho; m(\text{р-ра}) = 100 \cdot 1,2 = 120 \text{ г.}$$

Масса  $\text{HNO}_3$  в данном растворе будет равна:

$$m(\text{HNO}_3) = (\omega(\text{HNO}_3) \cdot m(\text{р-ра}))/100 \text{ %};$$

$$m(\text{HNO}_3) = (32 \cdot 120)/100 = 38,4 \text{ г.}$$

Вычисляем массу раствора кислоты с массовой долей  $\text{HNO}_3$ , равной 86 %, необходимого для приготовления требуемого раствора:

$$m_1(\text{р-ра}) = \frac{m(\text{HNO}_3)}{\omega(\text{HNO}_3)} \cdot 100 \text{ %};$$

$$m_1(\text{р-ра}) = \frac{38,4}{86} \cdot 100 = 44,7 \text{ г.}$$

Определяем объем раствора  $\text{HNO}_3$  с массовой долей кислоты 86 %:

$$V = m/\rho; V(\text{р-ра}) = 44,7/1,48 = 30 \text{ мл.}$$

**5.23.** Какой объем раствора серной кислоты (плотность — 1,82 г/мл, массовая доля 90 %) нужно взять для приготовления 50 мл раствора  $\text{H}_2\text{SO}_4$  с массовой долей кислоты 50 % (плотность 1,4 г/мл)?

Ответ: 21,4 мл.

**5.24.** Требуется приготовить раствор соли (массовая доля 20 %) массой 150 г из двух растворов этой соли с массовыми долями соответственно 10 и 40 %. Какую массу раствора соли с массовой долей 10 % нужно взять для этого?

**Решение.** Определяем массу соли в 150 г раствора с массовой долей этой соли 20 %:

$$m(\text{соли}) = (\omega(\text{соль}) \cdot m(\text{р-ра}))/100 \%;$$

$$m(\text{соль}) = (20 \cdot 150)/100 = 30 \text{ г.}$$

Обозначим массу раствора с массовой долей соли 10 %, необходимую для приготовления раствора с массовой долей 20 % массой 150 г,  $x$ . Тогда масса раствора с массовой долей соли 40 % для приготовления этого же раствора составит:  $(150 - x)$ .

Выражаем массу соли в растворе с массовой долей соли 10 %:

$$m_1(\text{соли}) = (10 \cdot x)/100 = 0,1x.$$

Выражаем массу соли в растворе с массовой долей соли 40 %:

$$m_2(\text{соли}) = (40 \cdot (150 - x))/100 = 0,4(150 - x).$$

Нами определено, что масса соли в растворе с массовой долей этой соли 20 % равна 30 г.

Следовательно,

$$m_1(\text{соль}) + m_2(\text{соль}) = 30 \text{ г.}$$

Переписываем уравнение, подставив выражения масс соли в растворах:

$$0,1x + 0,4(150 - x) = 30.$$

Решаем уравнение:  $x = 100$  г.

Следовательно, масса раствора с массовой долей соли 10 %, необходимая для приготовления раствора массой 150 г с массовой долей соли 20 %, равна 100 г.

**5.25.** Требуется приготовить раствор кислоты (массовая доля 10 %) массой 75 г из двух растворов этой кислоты с массовыми долями соответственно 5 и 20 %. Какую массу раствора кислоты с массовой долей 5 % нужно взять для этого?

Ответ: 50 г.

## 5.2. ОБЪЕМНАЯ ДОЛЯ РАСТВОРЕННОГО ВЕЩЕСТВА

**5.26.** 40 г этилового спирта растворили в 60 г воды. Определите объемную долю (в процентах) этилового спирта. Плотность этилового спирта равна 0,8 г/мл, воды — 1 г/мл. Изменением объемов при смешивании пренебречь.

**Решение.** Рассчитываем объемы этилового спирта и воды:

$$V(\text{спирт}) = m(\text{спирт})/\rho(\text{спирт});$$

$$V(\text{спирт}) = 40/0,8 = 50 \text{ мл.}$$

$$V(\text{H}_2\text{O}) = m(\text{H}_2\text{O})/\rho(\text{H}_2\text{O});$$

$$V(\text{H}_2\text{O}) = 60/1 = 60 \text{ мл.}$$

Объем раствора равен сумме объемов этилового спирта и воды:

$$V(\text{р-ра}) = V(\text{спирт}) + V(\text{H}_2\text{O}) = 50 + 60 = 110 \text{ мл.}$$

Определяем объемную долю этилового спирта:

$$\varphi(\text{спирт}) = \frac{V(\text{спирт})}{V(\text{р-ра})} \cdot 100 \%;$$

$$\varphi(\text{спирт}) = \frac{50}{110} \cdot 100 = 45,5 \%.$$

**5.27.** Массовая доля метанола в водном растворе равна 40 %. Определите объемную долю (в процентах) метанола. Плотность метанола равна 0,8 г/мл, воды — 1 г/мл. Изменением объемов при смешивании пренебечь.

Ответ: 45,5 %.

**5.28.** Какую массу ацетона (плотность 0,9 г/мл) нужно взять для приготовления 70 мл водного раствора с объемной долей ацетона 40 %. Изменением объемов при смешивании пренебечь.

Ответ: 25,2 г.

**5.29.** В органическом растворителе (плотность равна 1,2 г/мл) растворили углеводород (плотность равна 0,8 г/мл). Плотность раствора оказалась равной 0,9 г/мл. Определите объемную долю (в процентах) углеводорода в растворе. Изменением объемов при смешивании пренебечь.

**Решение.** Выбираем образец раствора объемом 100 мл. Определяем его массу:

$$m(\text{р-ра}) = V(\text{р-ра}) \cdot \rho(\text{р-ра}); m(\text{р-ра}) = 100 \cdot 0,9 = 90 \text{ г.}$$

Если обозначить объем углеводорода в 100 мл раствора  $x$ , тогда объем растворителя в 100 мл раствора

будет равен  $(100 - x)$ . Выражаем массы углеводорода и растворителя в растворе:

$$m(\text{углеводорода}) = V(\text{углеводорода}) \cdot \rho(\text{углеводорода});$$

$$m(\text{углеводорода}) = x \cdot 0,8;$$

$$m(\text{растворителя}) = V(\text{растворителя}) \cdot \rho(\text{растворителя});$$

$$m(\text{растворителя}) = (100 - x) \cdot 1,2.$$

Масса раствора равна сумме масс углеводорода и растворителя и составляет 90 г:

$$m(\text{углеводорода}) + m(\text{растворителя}) = 90 \text{ г.}$$

Переписываем уравнение, подставив значения масс углеводорода и растворителя:

$$(x \cdot 0,8) + (100 - x) \cdot 1,2 = 90.$$

Решаем уравнение  $x = 75$  мл. Таким образом, объем углеводорода равен 75 мл.

Определяем объемную долю углеводорода:

$$\varphi(\text{углеводорода}) = \frac{V(\text{углеводорода})}{V(\text{р-ра})} \cdot 100 \%;$$

$$\varphi(\text{углеводорода}) = \frac{75}{100} \cdot 100 = 75 \%.$$

**5.30.** Бензол (плотность 0,88 г/мл) смешали с растворителем (плотность равна 1,4 г/мл). Плотность раствора оказалась равной 1,25 г/мл. Определите объемную долю (в процентах) бензола в растворе. Изменением объемов при смешивании пренебечь.

Ответ: 28,8 %.

### 5.3. МОЛЯРНАЯ КОНЦЕНТРАЦИЯ

*Молярная концентрация* — это отношение количества растворенного вещества к объему раствора:

$$c = \nu/V \text{ [моль/л]}. \quad (5.1)$$

**5.31.** Определите молярную концентрацию (моль на литр) гидроксида калия в растворе объемом 300 мл. Масса КОН в растворе равна 14 г.

**Решение.** Рассчитываем количество КОН:

$$v(\text{KOH}) = m(\text{KOH})/M(\text{KOH});$$

$$v(\text{KOH}) = 14/56 = 0,25 \text{ моль.}$$

Определяем молярную концентрацию КОН, используя уравнение (5.1) и учитывая, что объем раствора необходимо выразить в литрах:

$$c(\text{KOH}) = v(\text{KOH})/V(\text{р-ра});$$

$$c(\text{KOH}) = 0,25/0,3 = 0,83 \text{ моль/л.}$$

**5.32.** Определите молярную концентрацию (моль на литр) хлорида натрия в растворе объемом 400 мл. Масса NaCl в растворе равна 29,25 г.

Ответ: 1,25 моль/л.

**5.33.** Какую массу азотной кислоты нужно взять для приготовления раствора  $\text{HNO}_3$  с концентрацией 2 моль/л объемом 250 мл.

Ответ: 31,5 г.

**5.34.** Какую массу бромида калия нужно взять для приготовления раствора KBr с концентрацией 0,1 моль/л объемом 500 мл.

Ответ: 5,95 г.

**5.35.** Какой объем (в литрах) хлороводорода (н.у.) нужно взять для приготовления раствора HCl с концентрацией 2 моль/л объемом 2 л.

Ответ: 89,6 л.

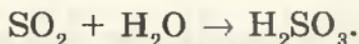
**5.36.** Какой объем оксида серы (IV) (н.у.) нужно взять для приготовления раствора сернистой кислоты с концентрацией 1,5 моль/л объемом 3 л.

**Решение.** Определяем количество сернистой кислоты в растворе:

$$v(\text{H}_2\text{SO}_3) = c(\text{H}_2\text{SO}_3) \cdot V(\text{р-ра});$$

$$v(\text{H}_2\text{SO}_3) = 1,5 \cdot 3 = 4,5 \text{ моль.}$$

Сернистая кислота образуется в результате растворения оксида серы (IV) в воде:



Согласно уравнению реакции

$$v(\text{SO}_2) = v(\text{H}_2\text{SO}_3); v(\text{SO}_2) = 4,5 \text{ моль.}$$

Рассчитываем объем оксида серы:

$$V(\text{SO}_2) = v(\text{SO}_2) \cdot 22,4 \text{ л/моль};$$

$$V(\text{SO}_2) = 4,5 \cdot 22,4 = 101 \text{ л.}$$

**5.37.** Какая масса раствора серной кислоты с массовой долей  $\text{H}_2\text{SO}_4$  80 % необходима для приготовления раствора серной кислоты с концентрацией 0,2 моль/л объемом 0,2 л.

Ответ: 4,9 г.

**5.38.** Какой объем раствора азотной кислоты с массовой долей  $\text{HNO}_3$  32 % и плотностью 1,2 г/мл нужно взять для приготовления 1 л раствора кислоты с концентрацией 0,5 моль/л?

Ответ: 82 мл.

**5.39.** Определите молярную концентрацию (моль на литр) гидроксида натрия в растворе  $\text{NaOH}$  с массовой долей гидроксида натрия 30,78 % и плотностью 1,34 г/мл.

**Решение.** Выбираем образец раствора объемом 1 л. Определяем его массу:

$$m(\text{р-ра}) = V(\text{р-ра}) \cdot \rho(\text{р-ра});$$

$$m(\text{р-ра}) = 1000 \cdot 1,34 = 1340 \text{ г.}$$

Рассчитываем массу  $\text{NaOH}$  в образце:

$$m(\text{NaOH}) = (\omega \cdot m(\text{р-ра}))/100 \text{ %};$$

$$m(\text{NaOH}) = (30,78 \cdot 1340)/100 = 412 \text{ г.}$$

Определяем количество  $\text{NaOH}$  в образце:

$$v(\text{NaOH}) = m(\text{NaOH})/M(\text{NaOH});$$

$$v(\text{NaOH}) = 412/40 = 10,3 \text{ моль.}$$

Вычисляем молярную концентрацию  $\text{NaOH}$ :

$$c(\text{NaOH}) = v(\text{NaOH})/V(\text{р-ра});$$

$$c(\text{NaOH}) = 10,3/1 = 10,3 \text{ моль/л.}$$

**5.40.** Определите молярную концентрацию серной кислоты (моль на литр) в растворе  $\text{H}_2\text{SO}_4$  с массовой долей кислоты 98,2 % и плотностью 1,841 г/мл.

Ответ: 18,5 моль/л.

## 5.4. РАСТВОРИМОСТЬ

5.41. В 100 г воды при 20 °С растворяется 40 г соли. Определите массовую долю (в процентах) соли в насыщенном при 20 °С растворе.

**Решение.** Определяем массу насыщенного раствора, содержащего 40 г соли, учитывая, что масса воды в растворе будет равна 100 г:

$$m(\text{р-ра}) = m(\text{соли}) + m(\text{H}_2\text{O});$$

$$m(\text{р-ра}) = 40 + 100 = 140 \text{ г.}$$

Вычисляем массовую долю соли в насыщенном растворе:

$$\omega(\text{соли}) = \frac{m(\text{соли})}{m(\text{р-ра})} \cdot 100 \%;$$

$$\omega(\text{соли}) = \frac{40}{140} \cdot 100 = 28,6 \%.$$

5.42. При н.у. в 100 г воды растворяется 44,8 л газа. Молярная масса газа равна 25 г/моль. Определите массовую долю (в процентах) газа в насыщенном (при н.у.) растворе.

Ответ: 33,3 %.

5.43. При н.у. в 100 г воды растворяется 5,6 л газа. Относительная плотность газа по водороду равна 18. Определите массовую долю (в процентах) газа в насыщенном растворе при н.у.

Ответ: 8,3 %.

5.44. В 100 г воды при 25 °С растворяется 40 г кислоты. Какую массу кислоты нужно взять для приготовления при 25 °С насыщенного раствора массой 70 г?

**Решение.** Определяем массу насыщенного раствора, содержащего 40 г кислоты и 100 г воды:

$$m(\text{р-ра}) = m(\text{кислоты}) + m(\text{H}_2\text{O}) = 40 + 100 = 140 \text{ г.}$$

Рассчитываем массовую долю кислоты в насыщенном растворе:

$$\omega(\text{кислоты}) = \frac{m(\text{кислоты})}{m(\text{р-ра})} \cdot 100 \%;$$

$$\omega(\text{кислоты}) = \frac{40}{140} \cdot 100 = 28,6 \%$$

Вычисляем массу кислоты, требуемую для приготовления 70 г раствора:

$$m(\text{кислоты}) = (\omega(\text{кислоты}) \cdot m(\text{р-ра}))/100 \%;$$

$$m(\text{кислоты}) = (28,6 \cdot 70)/100 = 20 \text{ г.}$$

5.45. В 100 г воды при н.у. растворяется 82,3 г хлороводорода. Какой объем (н.у.) хлороводорода нужно взять для приготовления насыщенного раствора HCl при н.у. массой 300 г?

Ответ: 83 л.

5.46. В 100 г воды при 40 °С растворяется 50 г соли, а при 10 °С — 30 г. Какая масса соли выпадет в осадок при охлаждении насыщенного при 40 °С раствора массой 50 г до 10 °С?

**Решение.** Вначале определяем массу насыщенного при 40 °С раствора, содержащего 100 г H<sub>2</sub>O и 50 г соли:

$$m_1(\text{р-ра}) = m_1(\text{соли}) + m(\text{H}_2\text{O});$$

$$m_1(\text{р-ра}) = 50 + 100 = 150 \text{ г.}$$

Затем рассчитываем массу насыщенного при 10 °С раствора, содержащего 100 г воды и 30 г соли:

$$m_2(\text{р-ра}) = m_2(\text{соли}) + m(\text{H}_2\text{O});$$

$$m_2(\text{р-ра}) = 30 + 100 = 130 \text{ г.}$$

Вычисляем массу осадка, образующегося при охлаждении раствора, содержащего 100 г воды:

$$m(\text{осадка}) = m_1(\text{р-ра}) - m_2(\text{р-ра});$$

$$m(\text{осадка}) = 150 - 130 = 20 \text{ г.}$$

Таким образом, при охлаждении 150 г раствора выпадает в осадок 20 г соли. Теперь вычисляем массу осадка, образующегося при охлаждении 50 г насыщенного раствора. Для этого составляем пропорцию:

из 150 г раствора выпадает 20 г осадка,  
из 50 г                   »                   »                   x г осадка,

$$x = 20 \cdot 50/150 = 6,67 \text{ г.}$$

5.47. В 100 г воды при 10 °С растворяется 5 г сульфата алюминия, а при 50 °С — 20,1 г. Какая масса соли выпадет в осадок при охлаждении насыщенного при 50 °С раствора массой 350 г до 10 °С?

Ответ: 44 г.

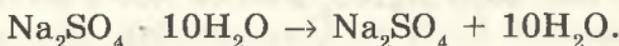
5.48. В 100 г воды при 30 °С растворяется 40,8 г сульфата натрия. Какую массу воды нужно взять для приготовления насыщенного при 30 °С раствора  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  из 161 г мирабилита ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ )?

Решение. Вычисляем количество мирабилита:

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

$$v(\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = 161/322 = 0,5 \text{ моль.}$$

Рассчитываем количества сульфата натрия и воды в составе мирабилита. Составим схему



Согласно схеме

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

$$v(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 0,5 \text{ моль;}$$

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

$$v(\text{H}_2\text{O}) = 10 \cdot 0,5 = 5 \text{ моль.}$$

Определяем массы сульфата натрия и воды в составе мирабилита:

$$m(\text{Na}_2\text{SO}_4) = v(\text{Na}_2\text{SO}_4) \cdot M(\text{Na}_2\text{SO}_4);$$

$$m(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 0,5 \cdot 142 = 71 \text{ г;}$$

$$m_1(\text{H}_2\text{O}) = v(\text{H}_2\text{O}) \cdot M(\text{H}_2\text{O}); m_1(\text{H}_2\text{O}) = 5 \cdot 18 = 90 \text{ г.}$$

Из расчетов следует, что в составе раствора будет содержаться 71 г сульфата натрия. Вычисляем массу воды в составе раствора. Для этого составляем пропорцию:

$$40,8 \text{ г } \text{Na}_2\text{SO}_4 \text{ растворяется в } 100 \text{ г } \text{H}_2\text{O},$$

$$71 \text{ г} \quad \quad \quad \gg \quad \quad \quad z \text{ г } \text{H}_2\text{O},$$

$$z = m_2(\text{H}_2\text{O}) = (71 \cdot 100)/40,8 = 174 \text{ г.}$$

При вычислении массы воды, необходимой для приготовления насыщенного раствора сульфата натрия

из 161 г мирабилита, следует учитывать, что мирабилит содержит кристаллизационную воду. Тогда масса воды, взятой для приготовления раствора, равна разнице масс воды, содержащейся в конечном растворе, и воды, входящей в состав кристаллогидрата:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = m_2(\text{H}_2\text{O}) - m_1(\text{H}_2\text{O});$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 174 - 90 = 84 \text{ г.}$$

**5.49.** В 100 г воды при 20 °С растворяется 20,5 г сульфата меди. Какую массу воды нужно взять для приготовления насыщенного при 20 °С раствора  $\text{CuSO}_4$  из 125 г медного купороса ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ )?

Ответ: 345 г.

**5.50.** Растворимость нитрата серебра в 100 г воды при 30 °С равна 274,5 г. При охлаждении насыщенного при 30 °С раствора  $\text{AgNO}_3$  массой 200 г до 0 °С выпал осадок массой 81,3 г. Определите растворимость (в граммах) нитрата серебра при 0 °С в 100 г воды.

**Решение.** Определяем массу насыщенного при 30 °С раствора нитрата серебра, содержащего 100 г воды и 274,5 г  $\text{AgNO}_3$ :

$$m(\text{р-ра}) = m(\text{AgNO}_3) + m(\text{H}_2\text{O});$$

$$m(\text{р-ра}) = 274,5 + 100 = 374,5 \text{ г.}$$

Затем рассчитываем массу нитрата серебра в насыщенном при 30 °С растворе массой 200 г. Для этого составляем пропорцию:

$$\begin{array}{ccc} 374,5 \text{ г раствора} & \text{содержит} & 274,5 \text{ г AgNO}_3; \\ 200 \text{ г} & \text{»} & \text{»} & x \text{ г AgNO}_3; \end{array}$$

$$x = m_1(\text{AgNO}_3) = (274,5 \cdot 200) / 374,5 = 146,6 \text{ г.}$$

Рассчитываем массу воды в насыщенном при 30 °С растворе нитрата серебра массой 200 г:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = m_1(\text{р-ра}) - m_1(\text{AgNO}_3);$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 200 - 146,6 = 53,4 \text{ г.}$$

Масса растворенного нитрата серебра после охлаждения 200 г раствора равна разнице масс нитрата серебра, содержащегося в исходном растворе, и осадка, образовавшегося после охлаждения:

$$m_2(\text{AgNO}_3) = m_1(\text{AgNO}_3) - m(\text{осадка});$$

$$m_2(\text{AgNO}_3) = 146,6 - 81,3 = 65,3 \text{ г.}$$

Определяем растворимость нитрата серебра при  $0^\circ\text{C}$  в 100 г воды, учитывая, что в 53,4 г воды растворяется при  $0^\circ\text{C}$  65,3 г  $\text{AgNO}_3$ .

Составляем пропорцию:

в 53,4 г воды растворяется 65,3 г  $\text{AgNO}_3$ ;

в 100 г       »               »               x г  $\text{AgNO}_3$ ;

$$m(\text{AgNO}_3) = x = (65,3 \cdot 100)/53,4 = 122,2 \text{ г.}$$

**5.51.** Растворимость нитрата калия в 100 г воды при  $60^\circ\text{C}$  равна 110 г. При охлаждении насыщенного при  $60^\circ\text{C}$  раствора  $\text{KNO}_3$  массой 400 г до  $20^\circ\text{C}$  выпал осадок массой 148,9 г. Определите растворимость нитрата калия (в граммах) при  $20^\circ\text{C}$  в 100 г воды.

Ответ: 32 г.

**5.52.** Растворимость хлороводорода в 100 г воды при  $0^\circ\text{C}$  равна 82,3 г. После нагревания 200 г насыщенного при  $0^\circ\text{C}$  раствора до  $50^\circ\text{C}$  его масса составила 175,1 г. Определите растворимость  $\text{HCl}$  (в граммах) при  $50^\circ\text{C}$  в 100 г воды.

Ответ: 59,6 г.

**5.53.** Через раствор  $\text{NaOH}$  массой 50 г с массовой долей гидроксида натрия 6 % пропустили избыток  $\text{CO}_2$ . Раствор охладили до  $0^\circ\text{C}$ . Определите массу образовавшегося осадка, если известно, что растворимость  $\text{NaHCO}_3$  в 100 г воды при  $0^\circ\text{C}$  равна 6,9 г.

**Решение.** Определяем массу гидроксида натрия в исходном растворе:

$$m(\text{NaOH}) = (\omega(\text{NaOH}) \cdot m(\text{р-ра}))/100 \text{ \%};$$

$$m(\text{NaOH}) = (6 \cdot 50)/100 = 3 \text{ г.}$$

Масса воды в растворе равна разнице масс раствора и гидроксида натрия:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = m(\text{р-ра}) - m(\text{NaOH});$$

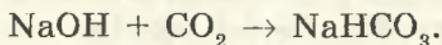
$$m(\text{H}_2\text{O}) = 50 - 3 = 47 \text{ г.}$$

Рассчитываем количество гидроксида натрия:

$$v(\text{NaOH}) = m(\text{NaOH})/M(\text{NaOH});$$

$$v(\text{NaOH}) = 3/40 = 0,075 \text{ моль.}$$

Гидроксид натрия с избытком оксида углерода реагирует по уравнению



Согласно уравнению реакции

$$v(\text{NaHCO}_3) = v(\text{NaOH}); v(\text{NaHCO}_3) = 0,075 \text{ моль.}$$

Рассчитываем массу образовавшегося гидрокарбоната натрия:

$$m_1(\text{NaHCO}_3) = v(\text{NaHCO}_3) \cdot M(\text{NaHCO}_3);$$

$$m_1(\text{NaHCO}_3) = 0,075 \cdot 84 = 6,3 \text{ г.}$$

Определяем массу растворенного гидрокарбоната натрия после охлаждения раствора до  $0^\circ\text{C}$ , учитывая, что в растворе содержится 47 г воды. Для этого составляем пропорцию:

в 100 г воды растворяется 6,9 г  $\text{NaHCO}_3$ ,

в 47 г           »           »           x г  $\text{NaHCO}_3$ ,

$$x = m_2(\text{NaHCO}_3) = (6,9 \cdot 47)/100 = 3,24 \text{ г.}$$

Масса осадка равна разнице масс гидрокарбоната натрия, образовавшегося в результате реакции и растворенного:

$$m(\text{осадка}) = m_1(\text{NaHCO}_3) - m_2(\text{NaHCO}_3);$$

$$m(\text{осадка}) = 6,3 - 3,24 = 3,06 \text{ г.}$$

**5.54.** К раствору азотной кислоты массой 100 г с массовой долей  $\text{HNO}_3$  31,5 % добавили раствор  $\text{KOH}$  с массовой долей гидроксида калия 50 % до полной нейтрализации. Раствор охладили до  $10^\circ\text{C}$ . Определите массу образовавшегося осадка, если известно, что растворимость  $\text{KNO}_3$  в 100 г воды при  $10^\circ\text{C}$  равна 21,2 г.

Ответ: 28,1 г.

**5.55.** К раствору  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  массой 50 г с массовой долей гидроксида бария 17,1 % добавили раствор азотной кислоты с массовой долей  $\text{HNO}_3$  20 % до полной нейтрализации. Раствор охладили до  $0^\circ\text{C}$ . Определите массу образовавшегося осадка, если известно, что растворимость  $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$  в 100 г воды при  $0^\circ\text{C}$  равна 5 г.

Ответ: 9,63 г.

## 5.5. ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКАЯ ДИССОЦИАЦИЯ

Степень электролитической диссоциации  $\alpha$  показывает, какая часть растворенного вещества распалась на ионы:

$$\alpha(\text{в-ва}) = (v_{\text{дис}}/v_{\text{общ}}) \cdot 100 \%, \quad (5.2)$$

где  $v_{\text{дис}}$  — количество электролита, подвергнувшегося диссоциации;  
 $v_{\text{общ}}$  — общее количество электролита в растворе.

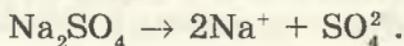
**5.56.** Определите количество ионов  $\text{SO}_4^{2-}$  в растворе, содержащем 14,2 г сульфата натрия. Сульфат натрия диссоциирует полностью.

**Решение.** Рассчитываем количество сульфата натрия:

$$v(\text{Na}_2\text{SO}_4) = m(\text{Na}_2\text{SO}_4)/M(\text{Na}_2\text{SO}_4);$$

$$v(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 14,2/142 = 0,1 \text{ моль.}$$

Сульфат натрия диссоциирует на ионы по уравнению



Определяем количество ионов  $\text{SO}_4^{2-}$ , принимая во внимание, что сульфат натрия диссоциирует полностью. Согласно уравнению диссоциации

$$v(\text{SO}_4^{2-}) = v(\text{Na}_2\text{SO}_4); v(\text{SO}_4^{2-}) = 0,1 \text{ (моль).}$$

**5.57.** Определите количество ионов  $\text{K}^+$  в растворе, содержащем 21,2 г фосфата калия. Фосфат калия диссоциирует полностью.

Ответ: 0,3 моль.

**5.58.** Степень диссоциации одноосновной кислоты  $\text{HA}$  равна 10 %. Определите количество анионов  $\text{A}^-$  в растворе, содержащем 0,2 моль кислоты  $\text{HA}$ .

**Решение.** Рассчитаем количество кислоты  $\text{HA}$ , диссоциированной на ионы, в соответствии с уравнением (5.2):

$$v(\text{HA})_{\text{дис}} = (\alpha(\text{HA}) \cdot v(\text{HA}_{\text{общ}}))/100 \%;$$

$$v(\text{HA})_{\text{дис}} = (10 \cdot 0,2)/100 = 0,02 \text{ моль.}$$

Записываем уравнение диссоциации кислоты:



Определяем количество анионов  $\text{A}^-$ . Согласно уравнению диссоциации

$$v(\text{A}^-) = v(\text{HA})_{\text{дис}}; v(\text{A}^-) = 0,02 \text{ моль.}$$

5.59. Степень диссоциации  $\text{H}_2\text{S}$  равна по первой ступени 0,5 %. Определите количество анионов  $\text{HS}^-$  в растворе, содержащем 0,1 моль  $\text{H}_2\text{S}$ . Диссоциацией по второй ступени пренебречь.

Ответ: 0,0005 моль.

5.60. Степень диссоциации двухосновной кислоты  $\text{H}_2\text{A}$  по первой ступени равна 80 %, по второй — 20 %. Определите количество анионов  $\text{HA}^-$  в растворе, содержащем 1 моль  $\text{H}_2\text{A}$ .

Ответ: 0,64 моль.

5.61. Степень диссоциации основания  $\text{R}(\text{OH})_2$  по первой ступени равна 90 %, по второй — 30 %. Определите количество ионов  $\text{ROH}^+$  в растворе, содержащем 2 моль основания.

Ответ: 1,26 моль.

5.62. Определите количество ионов, образующихся в растворе, содержащем 0,1 моль  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ . Сульфат железа диссоциирует полностью.

Ответ: 0,5 моль.

5.63. Определите степень диссоциации (в процентах) азотистой кислоты в растворе, содержащем 0,3 моль ионов  $\text{NO}_2^-$  и 1 моль молекул.

Решение. Записываем уравнение диссоциации азотистой кислоты:



Определяем количество диссоциированных молекул азотистой кислоты в растворе. Согласно уравнению диссоциации

$$v_{\text{дис}}(\text{HNO}_2) = v(\text{NO}_2^-); v_{\text{дис}}(\text{HNO}_2) = 0,3 \text{ моль.}$$

Общее количество азотистой кислоты в растворе равно сумме количеств диссоциированных и недиссоциированных молекул кислоты:

$$v_{\text{общ}}(\text{HNO}_2) = v_{\text{недис}}(\text{HNO}_2) + v_{\text{дис}}(\text{HNO}_2);$$

$$v_{\text{общ}}(\text{HNO}_2) = 1 + 0,3 = 1,3 \text{ моль.}$$

Рассчитываем степень диссоциации азотистой кислоты:

$$\alpha(\text{HNO}_2) = \frac{v_{\text{дис}}(\text{HNO}_2)}{v_{\text{общ}}(\text{HNO}_2)} \cdot 100 \%;$$

$$\alpha(\text{HNO}_2) = \frac{0,3}{1,3} \cdot 100 = 23 \%$$

**5.64.** Определите степень диссоциации (в процентах) одноосновной кислоты НА в растворе, содержащем 0,3 моль ионов и 0,4 моль молекул.

Ответ: 27 %.

**5.65.** Раствор сульфата одновалентного металла (массовая доля 7,1 %) массой 200 г содержит 0,3 моль ионов. Определите металл.

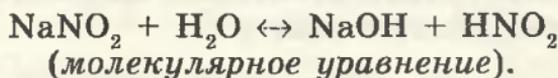
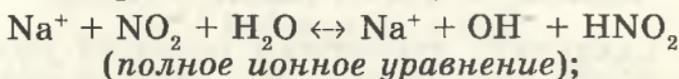
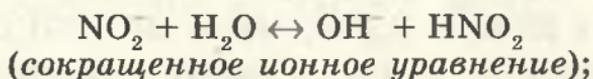
Ответ: Na.

## 5.6. ГИДРОЛИЗ СОЛЕЙ

**5.66.** Составьте молекулярное и ионные уравнения реакции гидролиза нитрита натрия.

**Решение.**  $\text{NaNO}_2$  — соль, образованная сильным основанием  $\text{NaOH}$  и слабой кислотой  $\text{HNO}_2$ . Гидролизу будет подвергаться анион.

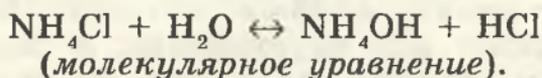
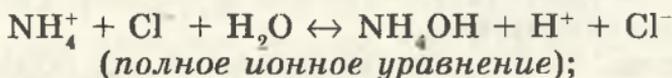
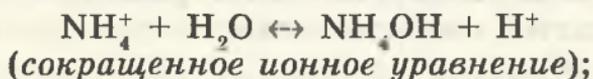
Запишем уравнения гидролиза  $\text{NaNO}_2$ :



**5.67.** Составьте молекулярное и ионные уравнения реакции гидролиза хлорида аммония.

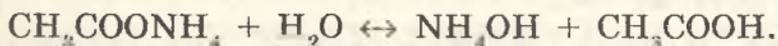
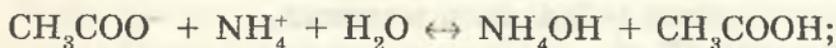
**Решение.**  $\text{NH}_4\text{Cl}$  — соль, образованная слабым основанием  $\text{NH}_4\text{OH}$  и сильной кислотой  $\text{HCl}$ . Гидролизу будет подвергаться катион.

Составляем уравнения реакций гидролиза:



**5.68.** Составьте молекулярное и ионное уравнения реакции гидролиза ацетата аммония.

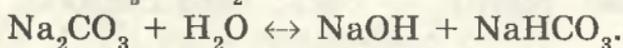
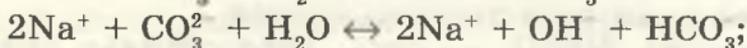
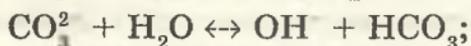
**Решение.**  $\text{CH}_3\text{COONH}_4$  — соль, образованная слабым основанием  $\text{NH}_4\text{OH}$  и слабой кислотой  $\text{CH}_3\text{COOH}$ . Гидролизу будут подвергаться и анион и катион:



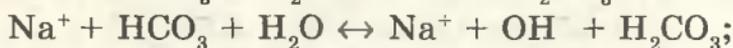
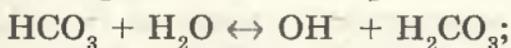
**5.69.** Составьте молекулярные и ионные уравнения реакции гидролиза карбоната натрия.

**Решение.**  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  — соль, образованная сильным основанием  $\text{NaOH}$  и слабой кислотой  $\text{H}_2\text{CO}_3$ . Гидролиз будет протекать в две стадии.

*Уравнения первой стадии гидролиза:*



*Уравнения второй стадии гидролиза:*



**5.70.** Составьте уравнения реакций гидролиза хлорида магния, сульфата аммония, хлорида железа (III), фосфата калия, силиката натрия.

**5.71.** Составьте уравнения реакций гидролиза хлорида натрия.

**Решение.**  $\text{NaCl}$  — соль, образованная сильным основанием  $\text{NaOH}$  и сильной кислотой  $\text{HCl}$ . Соль, образованная сильным основанием и сильной кислотой, гидролизу не подвергается.

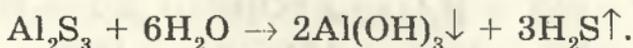
**5.72.** Составьте уравнения реакций гидролиза сульфата калия, нитрата лития.

**5.73.** Составьте уравнение реакции гидролиза сульфида алюминия.

**Решение.** Если кислота и основание, образующие соль, не только слабые электролиты, но и малорастворимы или неустойчивы и разлагаются с образованием летучих продуктов, то гидролиз соли часто протекает необратимо, т.е. сопровождается

полным разложением соли.

$\text{Al}_2\text{S}_3$  — соль, образованная слабым мало-растворимым основанием  $\text{Al}(\text{OH})_3$  и слабой малорастворимой кислотой  $\text{H}_2\text{S}$ . В связи с этим гидролиз сульфида алюминия необратим:



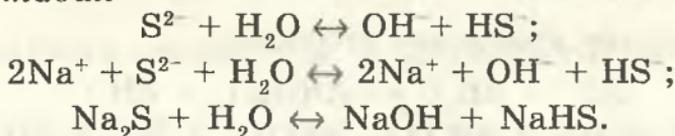
5.74. Составьте уравнения реакций гидролиза карбоната цинка, карбоната хрома.

5.75. Составьте уравнения реакций гидролиза гидрокарбоната натрия, дигидрофосфата калия, гидроксохлорида алюминия.

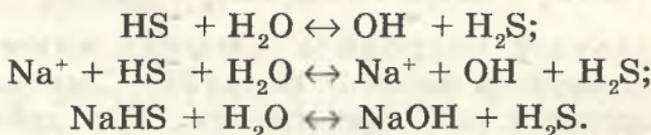
5.76. Какие процессы произойдут после смешивания растворов сульфида натрия и хлорида алюминия?

**Решение.** Составляем уравнения реакции гидролиза сульфида натрия:

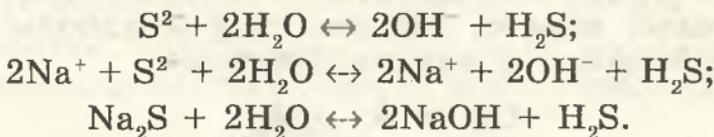
*1-я стадия*



*2-я стадия*



*Суммарное уравнение реакции*



В результате гидролиза сульфида натрия в растворе образуется избыток ионов  $\text{OH}^-$ . Следовательно, реакция среды в растворе щелочная.

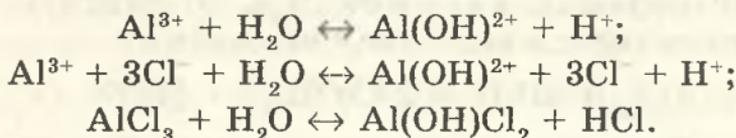
При добавлении ионов  $\text{H}^+$  в раствор сульфида натрия равновесие в системе будет смещаться, согласно принципу Ле Шателье, вправо, так как ионы водорода будут реагировать с гидроксид-ионами:



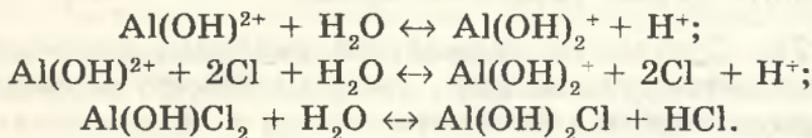
что приведет к снижению концентрации ионов  $\text{OH}^-$ .

Записываем уравнения реакции гидролиза хлорида алюминия.

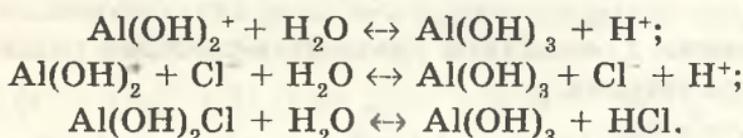
*1-я стадия*



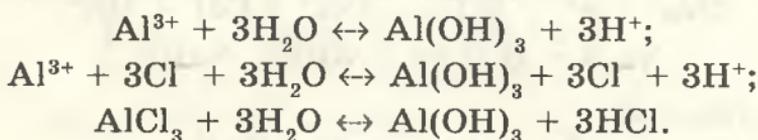
*2-я стадия*



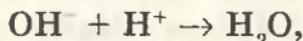
*3-я стадия:*



*Суммарное уравнение реакции*



В результате гидролиза хлорида алюминия в растворе образуется избыток ионов  $\text{H}^+$ . Следовательно, реакция среды в растворе кислая. При добавлении ионов  $\text{OH}^-$  в раствор хлорида алюминия равновесие в системе будет смещаться, согласно принципу Ле Шателье, вправо, так как гидроксидионы будут взаимодействовать с ионами водорода:

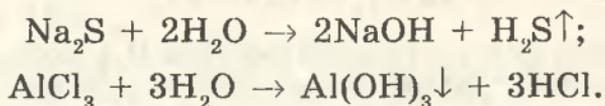


что приведет к снижению концентрации ионов  $\text{H}^+$ .

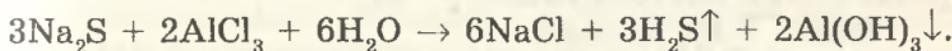
Рассмотрим процессы, протекающие при сливании растворов сульфида натрия и хлорида алюминия. В растворе сульфида натрия избыток ионов  $\text{OH}^-$ . Добавление ионов  $\text{H}^+$  в раствор смещает равновесие в системе вправо. В растворе хлорида алюминия избыток ионов  $\text{H}^+$ . Добавление ионов  $\text{OH}^-$  в раствор смещает равновесие в системе вправо.

Таким образом, смешивание растворов сульфида натрия и хлорида алюминия приводит к смещению

равновесия в сторону продуктов реакции гидролиза. Поскольку гидроксид алюминия и сульфид водорода малорастворимы, гидролиз необратим:



Итоговое уравнение будет иметь вид



**5.77.** Какие процессы произойдут после смешивания растворов карбоната натрия и хлорида алюминия, карбоната калия и нитрата железа (III)?

## Глава 6. СКОРОСТЬ ХИМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ, ХИМИЧЕСКОЕ РАВНОВЕСИЕ

### 6.1. РАСЧЕТ СКОРОСТИ ХИМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ

Скорость гомогенной химической реакции  $v$  равна изменению молярной концентрации  $\Delta c$  реагента или продукта реакции за единицу времени  $t$ :

$$v = \Delta c/t. \quad (6.1)$$

**6.1.** В сосуде смешали хлор и водород. Смесь нагрели. Через 5 с концентрация хлороводорода в сосуде стала равной 0,05 моль/л. Определите среднюю скорость образования хлороводорода (моль/л · с).

**Решение.** Определяем изменение концентрации хлороводорода в сосуде через 5 с после начала реакции:

$$\Delta c(\text{HCl}) = c_{\text{к}} - c_{\text{н}}; \quad (6.2)$$

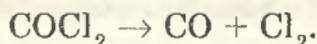
где  $c_{\text{к}}$ ,  $c_{\text{н}}$  — конечная и начальная молярная концентрация. Подставив в уравнение (6.2) цифровые значения, получим

$$\Delta c(\text{HCl}) = 0,05 - 0 = 0,05 \text{ моль/л.}$$

Рассчитываем среднюю скорость образования хлороводорода, используя уравнение (6.1):

$$v = \Delta c(\text{HCl})/t; v = 0,05/5 = 0,01 \text{ моль/л} \cdot \text{с.}$$

6.2. В запаянном сосуде протекает реакция разложения газообразного фосгена по уравнению:



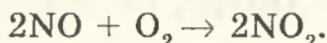
Исходная концентрация фосгена 0,1 моль/л. Через 8 с после начала реакции концентрация фосгена стала равной 0,02 моль/л. Определите среднюю скорость разложения фосгена (моль/л · с).

Ответ: 0,01 моль/л · с.

6.3. Химическое вещество  $\text{A}_2\text{B}$  растворили в воде. В водном растворе  $\text{A}_2\text{B}$  разлагается по уравнению:  $\text{A}_2\text{B} \rightarrow 2\text{A} + \text{B}$ . Через 10 с концентрация  $\text{A}$  в растворе стала равной 0,5 моль/л. Определите среднюю скорость разложения  $\text{A}_2\text{B}$  (моль/л · с).

Ответ: 0,025 моль/л · с.

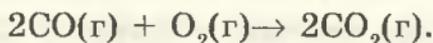
6.4. В сосуде протекает реакция



Через 5 с после начала реакции концентрация  $\text{NO}$  снизилась на 0,2 моль/л. Определите среднюю скорость образования  $\text{NO}_2$  (моль/л · с).

Ответ: 0,04 моль/л · с.

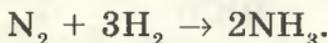
6.5. В сосуде объемом 2 л протекает реакция



Через 2 с после начала реакции количество  $\text{CO}_2$  увеличилось на 0,1 моль. Определите среднюю скорость образования  $\text{CO}_2$  (моль/л · мин).

Ответ: 0,025 моль/л · с.

6.6. В сосуде объемом 2 л протекает реакция



Через 2 с после начала реакции образовалось 1,7 г аммиака. Определите среднюю скорость образования аммиака (моль/л · с).

Ответ: 0,025 моль/л · с.

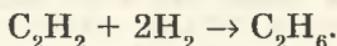
6.7. Средняя скорость образования  $\text{SO}_2$  равна 0,01 моль/л · с. Определите количество образовавшегося  $\text{SO}_2$  в сосуде объемом 2 л через 5 с после начала реакции.

Ответ: 0,1 моль.

**6.8.** Средняя скорость образования этана ( $C_2H_6$ ) равна  $0,02$  моль/л · с. Определите массу образовавшегося этана в сосуде объемом  $5$  л через  $4$  с после начала реакции.

Ответ:  $12$  г.

**6.9.** В сосуде объемом  $3$  л протекает реакция



Исходная масса водорода  $1$  г. Через  $2$  с после начала реакции масса водорода стала равной  $0,4$  г. Определите среднюю скорость образования  $C_2H_6$  (моль/л · с).

**Решение.** Масса водорода, вступившего в реакцию, равна разнице между исходной массой водорода и массой непрореагировавшего водорода:

$$m(H_2) = m_{исх}(H_2) - m_k(H_2); m(H_2) = 1 - 0,4 = 0,6 \text{ г.}$$

Рассчитываем количество водорода:

$$\nu(H_2) = m(H_2)/M(H_2); \nu(H_2) = 0,6/2 = 0,3 \text{ моль.}$$

Определяем количество образовавшегося  $C_2H_6$ . Согласно уравнению реакции

$$\begin{aligned} \nu(C_2H_6) &= 0,5\nu(H_2); \\ \nu(C_2H_6) &= 0,5 \cdot 0,3 = 0,15 \text{ моль.} \end{aligned}$$

Вычисляем концентрацию образовавшегося  $C_2H_6$ :

$$\begin{aligned} c(C_2H_6) &= \nu(C_2H_6)/V(C_2H_6); \\ c(C_2H_6) &= 0,15/3 = 0,05 \text{ моль/л.} \end{aligned}$$

Находим изменение концентрации  $C_2H_6$ :

$$\begin{aligned} \Delta c(C_2H_6) &= c_k - c_{исх}; \\ \Delta c(C_2H_6) &= 0,05 - 0 = 0,05 \text{ моль/л.} \end{aligned}$$

Рассчитываем среднюю скорость образования  $C_2H_6$ :

$$v = \Delta c(C_2H_6)/t; v = 0,05/2 = 0,025 \text{ моль/л · с.}$$

**6.10.** В растворе вещество АВ распадается по уравнению:  $AB \rightarrow A + B$ . При  $10^\circ C$  в сосуде объемом  $2$  л за  $5$  с распалось  $0,1$  моль АВ, а при  $25^\circ C$  в сосуде объемом  $0,5$  л за  $3$  с распалось  $0,075$  моль АВ. Определите, во сколько раз скорость реакции при  $25^\circ C$  выше, чем при  $10^\circ C$ .

Ответ: в  $5$  раз.

## 6.2. ЗАКОН ДЕЙСТВУЮЩИХ МАСС

Скорость гомогенной химической реакции прямо пропорциональна произведению концентраций реагирующих веществ, взятых в степенях, равных стехиометрическим коэффициентам при формулах этих веществ в уравнении реакции.

Для реакции  $nA + mB \rightarrow qD$  закон действующих масс имеет вид

$$v = k \cdot c^n(A) \cdot c^m(B), \quad (6.2)$$

где  $k$  — константа скорости реакции;  $c(A)$  и  $c(B)$  — молярные концентрации реагирующих веществ А и В соответственно.

**6.11.** В растворе протекает реакция  $A + B \rightarrow C$ . Определите скорость (моль/л · с) химической реакции в тот момент, когда в растворе объемом 0,2 л содержалось 0,1 моль А и 0,2 моль В. Константа скорости равна 10 л/моль · с.

**Решение.** Определяем молярные концентрации А и В:

$$c(A) = v(A)/V; c(A) = 0,1/0,2 = 0,5 \text{ моль/л};$$

$$c(B) = v(B)/V; c(B) = 0,2/0,2 = 1 \text{ моль/л}.$$

Рассчитываем скорость химической реакции в соответствии с уравнением (6.2):

$$v = k \cdot c(A) \cdot c(B); v = 10 \cdot 0,5 \cdot 1 = 5 \text{ моль/л} \cdot \text{с}.$$

**6.12.** Определите константу скорости (л/моль · с) химической реакции:  $A + B \rightarrow C$ . Известно, что скорость реакции в тот момент, когда в растворе объемом 2 л содержалось 1 моль А и 0,8 моль В, была равна 10 моль/л · с.

**Ответ:** 50 л/моль · с.

**6.13.** Определите константу скорости (л<sup>2</sup>/моль<sup>2</sup> · с) химической реакции:  $2A + B \rightarrow C$ . Известно, что скорость реакции в тот момент, когда в растворе объемом 3 л содержалось 1,5 моль А и 1,2 моль В, была равна 5 моль/л · с.

**Ответ:** 50 л<sup>2</sup>/моль<sup>2</sup> · с.

**6.14.** В системе протекает реакция между газообразными веществами:  $A + B \rightarrow C$ .

Во сколько раз увеличится скорость химической реакции, если концентрацию А увеличить в 4 раза?

**Решение.** Выражаем скорость реакции в исходном состоянии системы:

$$v_1 = k \cdot c_1(A) \cdot c_1(B);$$

Принимаем  $c_1(A) = a$ ;  $c_1(B) = b$ . Тогда

$$v_1 = k \cdot a \cdot b.$$

Выражаем скорость реакции после увеличения концентрации вещества А в 4 раза:

$$v_2 = k \cdot c_2(A) \cdot c_2(B).$$

Согласно условию

$$c_2(A) = 4c_1(A) = 4a; c_2(B) = c_1(B) = b.$$

Тогда

$$v_2 = k \cdot 4a \cdot b.$$

Рассчитываем, во сколько раз возрастет скорость реакции при увеличении концентрации вещества А:

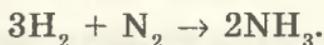
$$v_2/v_1 = (k \cdot 4a \cdot b)/(k \cdot a \cdot b) = 4.$$

Скорость реакции возрастет в 4 раза.

**6.15.** В системе протекает реакция между газообразными веществами  $2\text{NO} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{NO}_2$ . Во сколько раз увеличится скорость химической реакции, если концентрацию оксида азота (II) увеличить в 2 раза?

Ответ: в 4 раза.

**6.16.** В системе протекает реакция между газообразными веществами



Во сколько раз увеличится скорость химической реакции, если концентрацию  $\text{H}_2$  увеличить в 2 раза?

Ответ: в 8 раз.

**6.17.** В растворе протекает реакция  $\text{A} + \text{B} \rightarrow \text{C}$ . Во сколько раз возрастет скорость реакции, если концентрацию А увеличить в 2 раза, а концентрацию В — в 1,5 раза?

Ответ: в 3 раза.

**6.18.** В растворе протекает реакция  $2\text{A} + 3\text{B} \rightarrow \text{C}$ . Во сколько раз возрастет скорость реакции, если концентрацию А увеличить в 2 раза, а концентрацию В — в 3 раза?

Ответ: в 108 раз.

**6.19.** Во сколько раз возрастет скорость химической реакции между газообразными веществами, реагирую-

щими по уравнению  $A + B \rightarrow C$ , если увеличить давление в 2 раза?

**Решение.** Выражаем скорость реакции до увеличения давления:

$$v_1 = k \cdot c_1(A) \cdot c_1(B).$$

Принимаем  $c_1(A) = a$ ;  $c_1(B) = b$ . Тогда  $v_1 = k \cdot a \cdot b$ .

Увеличение давления приведет к уменьшению объема газов, к увеличению их концентрации и соответственно к увеличению скорости реакции. Скорость реакции после увеличения давления выразим следующим образом:

$$v_2 = k \cdot c_2(A) \cdot c_2(B).$$

При увеличении давления в 2 раза объем газовой смеси уменьшится также в 2 раза (согласно закону  $P_1V_1 = P_2V_2$ ). Следовательно, концентрация веществ возрастет в 2 раза.

Таким образом,

$$c_2(A) = 2c_1(A) = 2a, \quad c_2(B) = 2c_1(B) = 2b.$$

Тогда

$$v_2 = k \cdot 2a \cdot 2b.$$

Определяем, во сколько раз возрастет скорость реакции при увеличении давления:

$$v_2/v_1 = k \cdot 2a \cdot 2b / k \cdot a \cdot b = 4.$$

Скорость реакции возрастет в 4 раза.

**6.20.** Во сколько раз возрастет скорость химической реакции между газообразными веществами  $2A + 3B \rightarrow C$ , если увеличить давление в 3 раза?

Ответ: в 243 раза.

### 6.3. ТЕМПЕРАТУРНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ СКОРОСТИ ХИМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ

Зависимость скорости химической реакции от температуры определяет правило Вант-Гоффа, которое имеет следующее математическое выражение:

$$v_2 = v_1 \cdot \gamma^{(t_2 - t_1) : 10}, \quad (6.3)$$

где  $\gamma$  — температурный коэффициент скорости химической реакции;  $v_2, v_1$  — скорость реакции при температуре  $t_2^0$  и  $t_1^0$  соответственно.

**6.21.** На сколько градусов нужно увеличить температуру, чтобы скорость химической реакции возросла в 16 раз? Известно, что при увеличении температуры на  $10^\circ\text{C}$  скорость реакции возрастает в 2 раза (температурный коэффициент скорости реакции равен 2).

**Решение.** При увеличении температуры скорость химической реакции возрастает в соответствии с правилом Вант-Гоффа:

$$v_2 / v_1 = \gamma^{(t_2 - t_1) : 10} .$$

Подставив численные значения в выражение (6.3), получим

$$16 = 2^{(t_2 - t_1) : 10} .$$

Тогда

$$(t_2 - t_1) : 10 = 4; t_2 - t_1 = 40^\circ\text{C} .$$

Следовательно, температуру нужно увеличить на  $40^\circ\text{C}$ .

**6.22.** На сколько градусов нужно увеличить температуру, чтобы скорость химической реакции возросла в 27 раз? Известно, что при увеличении температуры на  $10^\circ\text{C}$  скорость реакции возрастает в 3 раза (температурный коэффициент скорости реакции равен 3).

Ответ: на  $30^\circ\text{C}$ .

**6.23.** Рассчитайте температурный коэффициент скорости реакции (во сколько раз возрастет скорость реакции при увеличении температуры на  $10^\circ\text{C}$ ), если известно, что при  $20^\circ\text{C}$  реакция протекает за 2 мин, а при  $50^\circ\text{C}$  за 15 с.

Ответ: 2.

**6.24.** Рассчитайте температурный коэффициент скорости реакции (во сколько раз возрастет скорость реакции при увеличении температуры на  $10^\circ\text{C}$ ), если известно, что при  $80^\circ\text{C}$  скорость реакции равна 2 моль/л · с, а при  $110^\circ\text{C}$  — 54 моль/л · с.

Ответ: 3.

**6.25.** Скорость химической реакции при  $40^\circ\text{C}$  равна 2 моль/л · с. Рассчитайте скорость химической реакции при  $80^\circ\text{C}$ , если известно, что при увеличении

температуры на  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  скорость реакции возрастает в 2 раза (температурный коэффициент скорости реакции равен 2).

Ответ: 32 моль/л · с.

## 6.4. ХИМИЧЕСКОЕ РАВНОВЕСИЕ

6.26. В системе установилось равновесие:  $2\text{CO} + \text{O}_2 \leftrightarrow 2\text{CO}_2$ . Количества  $\text{CO}$ ,  $\text{O}_2$  и  $\text{CO}_2$  в системе равны 1; 2 и 3 моль соответственно. Определите исходные количества оксида углерода (II) и кислорода.

Решение. Определяем количества оксида углерода (II) и кислорода, вступивших в реакцию. Согласно уравнению реакции

$$v_1(\text{CO}) = v_1(\text{CO}_2); v_1(\text{O}_2) = 0,5v_1(\text{CO}_2);$$

$$v_1(\text{CO}) = 3 \text{ моль}; v_1(\text{O}_2) = 0,5 \cdot 3 = 1,5 \text{ моль}.$$

Исходные количества оксида углерода (II) и кислорода равны сумме их равновесных количеств и количеств веществ, вступивших в реакцию:

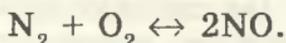
$$v_{\text{исх}}(\text{CO}) = v_1(\text{CO}) + v_{\text{равн}}(\text{CO});$$

$$v_{\text{исх}}(\text{CO}) = 3 + 1 = 4 \text{ моль};$$

$$v_{\text{исх}}(\text{O}_2) = v_1(\text{O}_2) + v_{\text{равн}}(\text{O}_2);$$

$$v_{\text{исх}}(\text{O}_2) = 1,5 + 2 = 3,5 \text{ моль}.$$

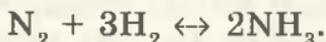
6.27. В системе установилось равновесие:



Равновесные концентрации  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$  и  $\text{NO}$  в системе соответственно равны 0,2; 0,1 и 0,2 моль/л. Определите исходные концентрации  $\text{N}_2$  и  $\text{O}_2$ . В ответе укажите концентрацию (моль/л) азота.

Ответ: 0,3 моль/л.

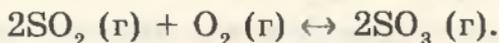
6.28. В системе установилось равновесие:



В состоянии равновесия количество аммиака в системе равно 4 моль. Определите исходную массу водорода, если известно, что к моменту установления равновесия прореагировало 80 %  $\text{H}_2$ .

Ответ: 15 г.

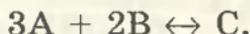
6.29. В системе установилось равновесие:



Равновесная концентрация  $\text{SO}_3$  равна 0,1 моль/л. Определите равновесную концентрацию  $\text{O}_2$ , если известно, что к моменту установления равновесия прореагировало 40 % кислорода.

Ответ: 0,075 моль/л.

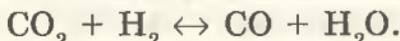
6.30. В растворе установилось равновесие:



Исходная концентрация А равна 0,1 моль/л. Равновесная концентрация С равна 0,02 моль/л. Определите количество вещества А (в процентах), не прореагировавшего к моменту установления равновесия.

Ответ: 40 %.

6.31. В сосуде смешали 4,4 г  $\text{CO}_2$  и 0,4 г  $\text{H}_2$ . Смесь нагрели. В системе установилось равновесие:



К моменту установления равновесия прореагировало 25 % водорода. Определите выход (в процентах) СО.

**Решение.** Рассчитываем исходные количества оксида углерода и водорода:

$$\nu(\text{CO}_2) = m(\text{CO}_2)/M(\text{CO}_2); \nu(\text{CO}_2) = 4,4/44 = 0,1 \text{ моль};$$

$$\nu_1(\text{H}_2) = m(\text{H}_2)/M(\text{H}_2); \nu_1(\text{H}_2) = 0,4/2 = 0,2 \text{ моль}.$$

Определяем количество образующегося оксида углерода (II) при 100%-ном выходе. Для этого устанавливаем вещество, взятое в избытке. Согласно уравнению реакции с 0,1 моль оксида углерода (IV) прореагирует 0,1 моль водорода. Следовательно, последний находится в избытке. Расчет проводим по оксиду углерода (IV).

Согласно уравнению реакции

$$\nu_{\text{теор}}(\text{CO}) = \nu(\text{CO}_2); \nu_{\text{теор}}(\text{CO}) = 0,1 \text{ моль}.$$

По условию задачи прореагировало 25 % водорода.

Рассчитываем его количество. Для этого составим пропорцию:

$$0,2 \text{ моль} \text{ — } 100 \%;$$

$$x \text{ моль} \text{ — } 25 \%;$$

$$v_2(\text{H}_2) = (0,2 \cdot 25)/100 = 0,05 \text{ моль.}$$

Рассчитываем практически полученное количество оксида углерода (II), учитывая, что в реакцию вступило 0,05 моль водорода. Согласно уравнению реакции

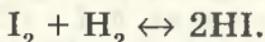
$$v_{\text{практ}}(\text{CO}) = v_2(\text{H}_2); v_{\text{практ}}(\text{CO}) = 0,05 \text{ моль.}$$

Вычисляем выход оксида углерода (II):

$$\eta(\text{CO}) = \frac{v_{\text{практ}}(\text{CO})}{v_{\text{теор}}(\text{CO})} \cdot 100 \%;$$

$$\eta(\text{CO}) = \frac{0,05}{0,1} \cdot 100 = 50 \%.$$

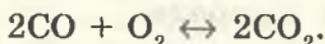
**6.32.** В сосуде смешали 25,4 г  $\text{I}_2$  и 0,4 г  $\text{H}_2$ . Смесь нагрели. В системе установилось равновесие:



К моменту установления равновесия прореагировало 40 % водорода. Определите выход (в процентах) HI.

Ответ: 80 %.

**6.33.** В сосуд поместили CO и  $\text{O}_2$ . Через некоторое время в системе установилось равновесие:



Как изменилось давление в сосуде к моменту установления равновесия (рассчитайте отношение  $P_{\text{равн}}$  к  $P_{\text{исх}}$ )? Известно, что исходные концентрации CO и  $\text{O}_2$  соответственно равны 0,1 и 0,15 моль/л, а равновесные для  $\text{CO}_2$  — 0,05; для CO — 0,05 и для  $\text{O}_2$  — 0,125 моль/л.

**Решение.** Концентрация газообразных веществ в исходном состоянии равна сумме исходных концентраций газов:

$$c_{\text{исх}} = c_{\text{исх}}(\text{CO}) + c_{\text{исх}}(\text{O}_2);$$

$$c_{\text{исх}} = 0,1 + 0,15 = 0,25 \text{ моль/л.}$$

Концентрация же газообразных веществ в равновесном состоянии системы равна сумме концентраций газов при равновесии:

$$c_{\text{равн}} = c_{\text{равн}}(\text{CO}_2) + c_{\text{равн}}(\text{CO}) + c_{\text{равн}}(\text{O}_2);$$

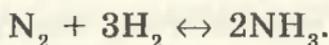
$$c_{\text{равн}} = 0,05 + 0,05 + 0,125 = 0,225 \text{ моль/л.}$$

Рассчитываем отношение  $P_{\text{равн}}$  к  $P_{\text{исх}}$ :

$$P_{\text{равн}}/P_{\text{исх}} = c_{\text{равн}}/c_{\text{исх}};$$

$$P_{\text{равн}}/P_{\text{исх}} = 0,225/0,25 = 0,9.$$

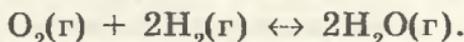
**6.34.** В сосуд поместили азот и водород. Через некоторое время в системе установилось равновесие:



Равновесные концентрации  $\text{H}_2$ ,  $\text{N}_2$  и  $\text{NH}_3$  соответственно равны 0,1, 0,2 и 0,15 моль/л. Как изменилось давление в сосуде к моменту установления равновесия (рассчитайте отношение  $P_{\text{равн}}$  к  $P_{\text{исх}}$ )?

Ответ: 0,75.

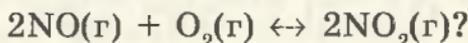
**6.35.** В сосуд поместили 3 моль водорода и 2 моль кислорода. Через некоторое время в системе установилось равновесие:



К моменту установления равновесия в системе образовался 1 моль воды. Как изменилось давление в сосуде к моменту установления равновесия? Рассчитайте отношение  $P_{\text{равн}}$  к  $P_{\text{исх}}$ .

Ответ: 0,9.

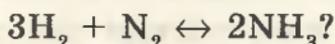
**6.36.** В каком направлении сместится химическое равновесие при увеличении давления в системе:



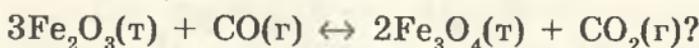
**Решение.** Принцип Ле Шателье гласит: если на систему, находящуюся в равновесии, оказать воздействие, то в результате протекающих в ней процессов равновесие сместится в том направлении, что оказанное воздействие уменьшится.

Таким образом, при увеличении давления система стремится понизить его. При этом равновесие сдвинется в сторону уменьшения молекул газов: в левой части уравнения — 3 молекулы газа, в правой — 2 молекулы газа. Следовательно, равновесие сместится вправо.

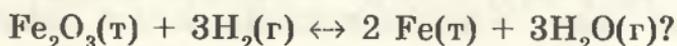
**6.37.** В каком направлении сместится химическое равновесие при увеличении давления в системе:



**6.38.** В каком направлении сместится химическое равновесие при увеличении давления в системе:



**6.39.** В каком направлении сместится химическое равновесие при понижении давления в системе:



**6.40.** В каком направлении сместится химическое равновесие при повышении температуры в системе:

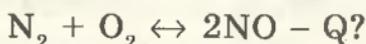


**Решение.** Согласно принципу Ле Шателье при увеличении температуры система стремится понизить ее. Следовательно, равновесие сдвинется в направлении эндотермической реакции. Прямая реакция — эндотермическая, обратная — экзотермическая. Таким образом, равновесие в предложенной реакции сместится вправо.

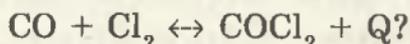
**6.41.** В каком направлении сместится химическое равновесие при повышении температуры в системе:



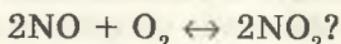
**6.42.** В каком направлении сместится химическое равновесие при понижении температуры в системе:



**6.43.** В каком направлении сместится химическое равновесие при понижении температуры в системе:



**6.44.** В каком направлении сместится химическое равновесие при увеличении концентрации NO в системе:



**Решение.** Согласно принципу Ле Шателье при увеличении концентрации вещества система стремится понизить ее. При этом равновесие сдвинется в сторону расхода этого вещества. Следовательно, равновесие сместится в сторону расхода оксида азота (II) вправо.

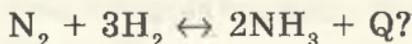
**6.45.** В каком направлении сместится химическое равновесие при увеличении концентрации  $\text{H}_2$  в системе:



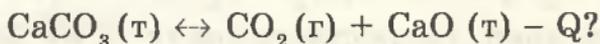
**6.46.** В каком направлении сместится химическое

равновесие при уменьшении концентрации  $\text{Cl}_2$  в системе:  
$$4\text{HCl} + \text{O}_2 \leftrightarrow 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{Cl}_2?$$

6.47. В каком направлении сместится химическое равновесие при повышении давления и понижении температуры в системе:



6.48. В каком направлении сместится химическое равновесие при повышении давления и повышении температуры в системе:



6.49. В каком направлении сместится химическое равновесие при повышении температуры и внесении в систему катализатора:  $\text{H}_2 + \text{I}_2 \leftrightarrow 2\text{HI} - \text{Q?}$

6.50. В каком направлении сместится химическое равновесие при увеличении концентрации  $\text{NO}$  и внесении катализатора в систему:  $2\text{NO} + \text{O}_2 \leftrightarrow 2\text{NO}_2?$

## 6.5. КОМБИНИРОВАННЫЕ ЗАДАЧИ

6.51. В сосуде протекает реакция между газообразными веществами:  $\text{C}_2\text{H}_4 + \text{H}_2 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_6$ . Во сколько раз увеличится скорость химической реакции, если концентрацию  $\text{C}_2\text{H}_4$  увеличить в 2 раза и повысить температуру на  $30^\circ\text{C}$ . Температурный коэффициент скорости реакции принять равным 3.

Решение. Вначале рассчитываем увеличение скорости реакции за счет увеличения концентрации  $\text{C}_2\text{H}_4$ . В соответствии с законом действующих масс скорость реакции пропорциональна произведению концентраций веществ, вступивших в реакцию:

$$v = k \cdot c(\text{C}_2\text{H}_4) \cdot c(\text{H}_2).$$

Выражаем скорость реакции в исходном состоянии  $v_1$ . Для этого принимаем:  $a$  — концентрация  $\text{C}_2\text{H}_4$  в исходном состоянии;  $b$  — концентрация  $\text{H}_2$ . Тогда

$$v_1 = k \cdot a \cdot b.$$

Выражаем скорость реакции  $v_2$  при увеличении концентрации  $\text{C}_2\text{H}_4$ . Концентрация  $\text{C}_2\text{H}_4$  после ее увеличения в 2 раза составит  $2a$ . Тогда

$$v_2 = k \cdot 2a \cdot b.$$

Рассчитываем, во сколько раз возрастет скорость реакции за счет увеличения концентрации  $C_2H_4$ . Для этого находим отношение  $v_2$  к  $v_1$ :

$$v_2 / v_1 = (k \cdot 2a \cdot b) / (k \cdot a \cdot b); v_2 / v_1 = 2.$$

Таким образом, скорость реакции возрастет в 2 раза.

Теперь рассчитываем увеличение скорости реакции за счет увеличения температуры:

$$v_4 = v_3 \cdot \gamma^{(t_2 - t_1) : 10}; v_4 = v_3 \cdot 3^3 = v_3 \cdot 27.$$

Следовательно, скорость возрастет в 27 раз.

Так как увеличение концентрации реагирующего вещества привело к увеличению скорости реакции в 2 раза и повышение температуры также увеличило скорость реакции, но уже в 27 раз, значит, в целом скорость реакции возрастет в 54 раза.

**6.52.** В сосуде протекает реакция между газообразными веществами:  $2A + B \rightarrow C$ . Во сколько раз увеличится скорость химической реакции, если концентрацию  $A$  увеличить в 3 раза и повысить температуру на  $30^\circ C$ ? Температурный коэффициент скорости реакции равен 2.

Ответ: в 72 раза.

**6.53.** В сосуде протекает реакция между газообразными веществами:  $H_2 + Cl_2 \rightarrow 2HCl$ . В системе увеличили давление в 2 раза. Затем добавили хлор, в результате чего его количество возросло в 1,5 раза, объем системы при этом не изменился. Температура системы в начальном и конечном состоянии одинакова. Определите, во сколько раз возросла скорость реакции после увеличения давления и введения хлора в систему. Считать, что увеличили давление и добавили хлор мгновенно.

**Решение.** Скорость реакции пропорциональна концентрации реагирующих веществ:

$$v = k \cdot c(H_2) \cdot c(Cl_2).$$

Выражаем скорость реакции  $v_1$  в исходном состоянии. Для этого принимаем:  $a$  — концентрация водорода в исходном состоянии;  $b$  — концентрация хлора в исходном состоянии. Тогда

$$v_1 = k \cdot a \cdot b.$$

Для газообразных веществ давление газа обратно пропорционально объему газа:

$$P_1/P_2 = V_2/V_1.$$

Таким образом, при увеличении давления в 2 раза объем газа уменьшится в 2 раза, концентрация же возрастет в 2 раза. Тогда концентрация водорода составит  $2a$ , хлора —  $2b$ .

В условии указано, что в систему ввели хлор. В результате его количество возросло в 1,5 раза. Значит, его концентрация вследствие этого возросла еще в 1,5 раза и составила:

$$2b \cdot 1,5 = 3b.$$

Выражаем скорость реакции  $v_2$  в конечном состоянии системы, учитывая, что концентрация водорода равна  $2a$ , хлора —  $3b$ :

$$v_2 = k \cdot 2a \cdot 3b = 6 \cdot k \cdot a \cdot b.$$

Рассчитываем увеличение скорости реакции после увеличения давления и введения хлора в систему:

$$v_2/v_1 = (6 \cdot k \cdot a \cdot b)/(k \cdot a \cdot b); v_2/v_1 = 6.$$

Скорость реакции возрастет в 6 раз.

**6.54.** В сосуде протекает реакция между газообразными веществами:  $2A + 3B \rightarrow C$ . В системе увеличили давление в 1,5 раза. Затем добавили вещество В, в результате чего его количество возросло в 2 раза, объем системы при этом не изменился. Температура системы в начальном и конечном состоянии одинакова. Определите, во сколько раз возросла скорость реакции после увеличения давления и введения вещества В в систему. Считать, что увеличили давление и добавили вещество мгновенно.

Ответ: в 60,75 раза.

**6.55.** В сосуде протекает реакция между газообразными веществами:  $A + B \rightarrow C$ . Во сколько раз увеличится скорость химической реакции, если давление увеличить в 2 раза и повысить температуру на 20 °С? Температурный коэффициент скорости реакции равен 3.

**Решение.** Скорость реакции пропорциональна произведению концентраций реагирующих веществ А и В:

$$v = k \cdot c(A) \cdot c(B).$$

Выражаем скорость реакции  $v_1$  в исходном состоянии. Для этого принимаем:  $a$  — концентрация А в исходном состоянии;  $b$  — концентрация В в исходном состоянии.

Тогда

$$v_1 = k \cdot a \cdot b.$$

При увеличении давления в 2 раза объем уменьшится в 2 раза и во столько же возрастет концентрация. Следовательно, концентрация вещества А составит  $2a$ , концентрация вещества В —  $2b$ .

Выражаем скорость реакции  $v_2$  после увеличения давления:

$$v_2 = k \cdot 2a \cdot 2b; v_2 = 4 \cdot k \cdot a \cdot b.$$

Рассчитываем, во сколько раз возрастет скорость реакции при увеличении давления. Для этого определим отношение  $v_2$  к  $v_1$ :

$$v_2/v_1 = (4 \cdot k \cdot a \cdot b)/(k \cdot a \cdot b) = 4.$$

Скорость реакции возрастет в 4 раза.

Вычисляем увеличение скорости реакции при увеличении температуры:

$$v_4 = v_3 \cdot \gamma^{(t_2 - t_1) : 10}.$$

Подставляем известные значения:

$$v_4 = v_3 \cdot 3^2 = 9 \cdot v_3.$$

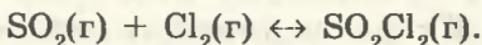
Следовательно, скорость возрастет в 9 раз.

Так как при увеличении давления скорость возрастает в 4 раза, а при повышении температуры — в 9 раз, в целом скорость реакции возрастет в 36 раз.

**6.56.** В сосуде протекает реакция между газообразными веществами:  $2A + 2B \rightarrow C$ . Во сколько раз увеличится скорость химической реакции, если давление увеличить в 1,5 раза и повысить температуру на  $30^\circ\text{C}$ ? Температурный коэффициент скорости реакции равен 2.

Ответ: в 40,5 раза.

**6.57.** В системе установилось равновесие:



Рассчитайте отношение скорости прямой реакции к скорости обратной реакции после увеличения концентраций  $\text{SO}_2$  в 2 раза,  $\text{Cl}_2$  — в 3 раза.

**Решение.** При равновесии скорость прямой реакции  $v_{\text{пр}}$  равна скорости обратной реакции  $v_{\text{обр}}$ :

$$v_{\text{пр}} = v_{\text{обр}}.$$

Скорость прямой реакции пропорциональна концентрациям оксида серы и хлора:

$$v_{\text{пр}} = k_1 \cdot c(\text{SO}_2) \cdot c(\text{Cl}_2).$$

Скорость обратной реакции пропорциональна концентрации  $\text{SO}_2\text{Cl}_2$ :

$$v_{\text{обр}} = k_2 \cdot c(\text{SO}_2\text{Cl}_2).$$

Принимаем, что при равновесии концентрация оксида серы равна  $a$ ; концентрация хлора —  $b$ , концентрация  $\text{SO}_2\text{Cl}_2$  —  $c$ .

Выражаем скорости прямой и обратной реакций во время равновесия:

$$v_{\text{1пр}} = k_1 \cdot a \cdot b; v_{\text{1обр}} = k_2 \cdot c.$$

Согласно условию после увеличения концентрация оксида серы составит  $2a$ , концентрация хлора —  $3b$ . Концентрация  $\text{SO}_2\text{Cl}_2$  не меняется.

Выражаем скорость прямой реакции после увеличения концентрации оксида серы и хлора:

$$v_{\text{2пр}} = k_1 \cdot 2a \cdot 3b; v_{\text{2обр}} = k_2 \cdot c.$$

Преобразовываем последнее уравнение, учитывая, что  $v_{\text{1пр}} = k_1 \cdot a \cdot b$ :

$$v_{\text{2пр}} = 6 \cdot v_{\text{1пр}}.$$

Скорость обратной реакции не изменится и будет равна скорости обратной и прямой реакции при равновесии:

$$v_{\text{2обр}} = v_{\text{1обр}} = v_{\text{1пр}}.$$

Рассчитываем отношение скорости прямой реакции к скорости обратной реакции после увеличения концентрации оксида серы и хлора:

$$v_{\text{2пр}}/v_{\text{2обр}} = (6 \cdot v_{\text{1пр}})/v_{\text{1пр}} = 6.$$

**6.58.** В системе установилось равновесие:  $2\text{NO} + \text{O}_2 \leftrightarrow 2\text{NO}_2$ . Рассчитайте отношение скорости прямой реакции к скорости обратной реакции после увеличения концентрации  $\text{NO}$  в 3 раза,  $\text{O}_2$  — в 2 раза.

Ответ: 18.

**6.59.** В системе установилось равновесие:  $\text{CO} + \text{Cl}_2 \leftrightarrow \text{COCl}_2$ . Рассчитайте отношение скорости прямой реакции к скорости обратной реакции после увеличения давления в 3 раза.

**Решение.** При равновесии скорость прямой реакции равна скорости обратной реакции:

$$v_{\text{пр}} = v_{\text{обр}}$$

Скорость прямой реакции пропорциональна концентрациям оксида углерода и хлора:

$$v_{\text{пр}} = k_1 \cdot c(\text{CO}) \cdot c(\text{Cl}_2).$$

Скорость обратной реакции пропорциональна концентрации  $\text{COCl}_2$ :

$$v_{\text{обр}} = k_2 \cdot c(\text{COCl}_2).$$

Принимаем, что при равновесии концентрация оксида углерода равна  $a$ ; концентрация хлора —  $b$ , концентрация  $\text{COCl}_2$  —  $c$ .

Выражаем скорости прямой и обратной реакций во время равновесия:

$$v_{1\text{пр}} = k_1 \cdot a \cdot b; v_{1\text{обр}} = k_2 \cdot c.$$

При увеличении давления в 3 раза объем газа уменьшится в 3 раза, в столько же раз возрастет и концентрация. Следовательно, концентрация  $\text{CO}$  составит  $3a$ ,  $\text{Cl}_2$  —  $3b$ ,  $\text{COCl}_2$  —  $3c$ .

Выражаем скорость прямой реакции после увеличения давления:

$$v_{2\text{пр}} = k_1 \cdot 3a \cdot 3b; v_{2\text{пр}} = 9 \cdot k_1 \cdot a \cdot b.$$

Преобразуем последнее уравнение, учитывая, что  $v_{1\text{пр}} = k_1 \cdot a \cdot b$ :

$$v_{2\text{пр}} = 9 \cdot v_{1\text{пр}}$$

Теперь выражаем скорость обратной реакции после увеличения давления:

$$v_{2\text{обр}} = k_2 \cdot 3c.$$

Преобразовываем последнее уравнение, принимая во внимание, что  $v_{1\text{обр}} = k_2 \cdot c$ .

Тогда

$$v_{2\text{обр}} = 3 \cdot v_{1\text{обр}}$$

Поскольку при равновесии  $v_{1\text{обр}} = v_{1\text{пр}}$ ,

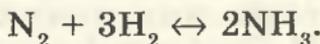
$$v_{2\text{обр}} = 3 \cdot v_{1\text{пр}}$$

Рассчитываем отношение скорости прямой реакции

к скорости обратной реакции после увеличения давления:

$$v_{2\text{пр}}/v_{2\text{обр}} = (9 \cdot v_{1\text{пр}})/(3 \cdot v_{1\text{пр}}); v_{2\text{пр}}/v_{2\text{обр}} = 3.$$

**6.60.** В системе установилось равновесие:



Рассчитайте отношение скорости прямой реакции к скорости обратной реакции после увеличения давления в 2 раза.

Ответ: 4.

**6.61.** В системе установилось равновесие:  $\text{A} + \text{B} \leftrightarrow \text{C}$ . Рассчитайте отношение скорости прямой реакции к скорости обратной реакции после того, как температуру увеличили на  $30^\circ\text{C}$ . Температурный коэффициент скорости прямой реакции равен 3, обратной — 2.

**Решение.** Рассчитываем увеличение скорости прямой реакции при повышении температуры:

$$v_{2\text{пр}} = v_{1\text{пр}} \cdot \gamma^{(t_2 - t_1)} : 10;$$
$$v_{2\text{пр}} = v_{1\text{пр}} \cdot 3^3 = 27 \cdot v_{1\text{пр}}.$$

Следовательно, скорость возрастет в 27 раз.

Рассчитываем увеличение скорости обратной реакции при повышении температуры:

$$v_{2\text{обр}} = v_{1\text{обр}} \cdot \gamma^{(t_2 - t_1)} : 10;$$
$$v_{2\text{обр}} = v_{1\text{обр}} \cdot 2^3 = 8 \cdot v_{1\text{обр}}.$$

Следовательно, скорость возрастет в 8 раз.

Выражаем отношение скорости прямой реакции к скорости обратной реакции после увеличения температуры:

$$v_{2\text{пр}}/v_{2\text{обр}} = (27 \cdot v_{1\text{пр}})/(8 \cdot v_{1\text{обр}}).$$

Переписываем уравнение, учитывая, что при равновесии скорости прямой и обратной реакций равны, т.е.  $v_{1\text{пр}} = v_{1\text{обр}}$ :

$$v_{2\text{пр}}/v_{2\text{обр}} = 27 \cdot v_{1\text{пр}}/8 \cdot v_{1\text{пр}}; v_{2\text{пр}}/v_{2\text{обр}} = 3,375.$$

**6.62.** В системе установилось равновесие:  $\text{X} + \text{Y} \leftrightarrow \text{Z}$ . Рассчитайте отношение скорости прямой реакции к скорости обратной реакции после того, как

температуру увеличили на 50 °С. Температурный коэффициент скорости прямой реакции равен 2, обратной — 3.

Ответ: 0,13.

**6.63.** В системе установилось равновесие  $A(г) + 2B(г) \leftrightarrow C(г)$ . Рассчитайте отношение скорости прямой реакции к скорости обратной реакции после того, как увеличили давление в 3 раза и температуру на 30 °С. Температурный коэффициент скорости прямой реакции равен 2, обратной — 3.

Ответ: 2,7.

**6.64.** В замкнутый сосуд поместили 2 моль  $I_2$  и 4 моль  $H_2$ . Смесь нагрели. Определите массовую долю (в процентах) иодоводорода в смеси к моменту, когда в реакцию вступило 25 % водорода.

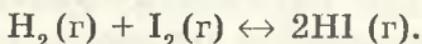
**Решение.** Определяем количество вещества водорода, вступившего в реакцию. Для этого составляем пропорцию:

$$4 \text{ моль} — 100 \%,$$

$$x \text{ моль} — 25 \%;$$

$$x = \nu_1(H_2) = (25 \cdot 4)/100 = 1 \text{ моль.}$$

Записываем уравнение реакции:



Устанавливаем количество иода, вступившего в реакцию. Согласно уравнению реакции:

$$\nu_1(I_2) = \nu_1(H_2); \nu_1(I_2) = 1 \text{ моль.}$$

Вычисляем количества водорода и иода в конечном состоянии:

$$\nu_k(H_2) = \nu_{исх}(H_2) - \nu_1(H_2); \nu_k(H_2) = 4 - 1 = 3 \text{ моль};$$

$$\nu_k(I_2) = \nu_{исх}(I_2) - \nu_1(I_2); \nu_k(I_2) = 2 - 1 = 1 \text{ моль.}$$

Определяем количество образовавшегося иодоводорода.

Согласно уравнению реакции

$$\nu_{1к}(HI) = 2\nu(H_2); \nu_{1к}(HI) = 2 \cdot 1 = 2 \text{ моль.}$$

Рассчитываем массу водорода, иода и иодоводорода в конечном состоянии:

$$m(H_2) = \nu_k(H_2) \cdot M(H_2); \quad m(H_2) = 3 \cdot 2 = 6 \text{ г};$$

$$m(I_2) = \nu_k(I_2) \cdot M(I_2); \quad m(I_2) = 1 \cdot 254 = 254 \text{ г};$$

$$m(\text{HI}) = \nu_x(\text{HI}) \cdot M(\text{HI}); \quad m(\text{HI}) = 2 \cdot 128 = 256 \text{ г.}$$

Определяем массовую долю иодоводорода:

$$\omega(\text{HI}) = \frac{m(\text{HI})}{m(\text{H}_2) + m(\text{I}_2) + m(\text{HI})} \cdot 100 \%;$$

$$\omega(\text{HI}) = \frac{256}{6 + 254 + 256} \cdot 100 = 50 \%.$$

**6.65.** В замкнутый сосуд поместили 3 моль  $\text{H}_2$  и 2 моль  $\text{N}_2$ . Смесь нагрели. Определите массовую долю (в процентах) аммиака в смеси к моменту, когда в реакцию вступило 15 % азота.

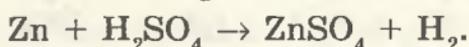
Ответ: 16,5 %.

## Глава 7. ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЕ РЕАКЦИИ

**7.1.** Определите степень окисления всех элементов в соединениях:  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ,  $\text{K}_2\text{FeO}_4$ ,  $\text{MgOHCl}$ ,  $\text{NH}_4\text{OH}$ ,  $\text{Mg}_3\text{N}_2$ ,  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ,  $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ ,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ .

**7.2.** Определите степень окисления всех элементов в составе ионов:  $\text{ClO}_4^-$ ,  $\text{MnO}_4^-$ ,  $\text{B}_4\text{O}_7^{2-}$ ,  $\text{NH}_4^+$ .

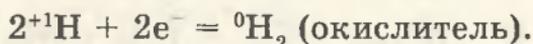
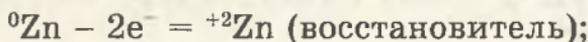
**7.3.** Определите окислитель и восстановитель в следующей химической реакции:



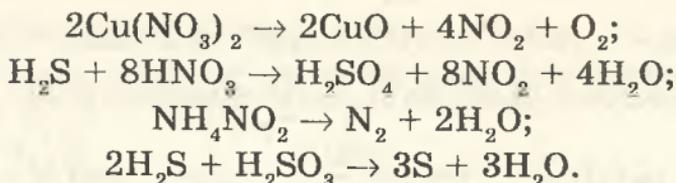
**Решение.** Устанавливаем элементы, изменившие степень окисления в результате реакции:



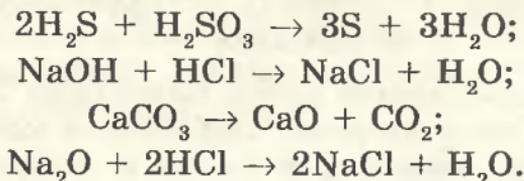
Степень окисления изменили цинк и водород. Определяем восстановитель и окислитель. Восстановитель отдает электроны, окислитель их принимает. Следовательно, восстановителем является цинк, окислителем — водород:



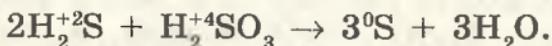
**7.4.** Определите окислитель и восстановитель в следующих химических реакциях:



7.5. Определите, какая из предложенных реакций является окислительно-восстановительной:

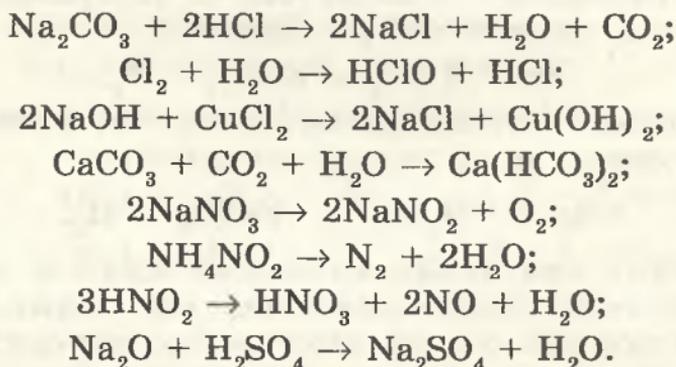


**Решение.** Реакции, в результате которых изменяются степени окисления элементов, называются окислительно-восстановительными. Находим окислительно-восстановительную реакцию. Для этого определяем химическую реакцию, в результате которой изменяется степень окисления элементов. Степень окисления элементов изменяется только в следующей реакции:



Следовательно, только эта реакция будет окислительно-восстановительной.

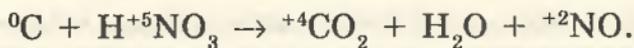
7.6. Определите, какие из предложенных реакций являются окислительно-восстановительными:



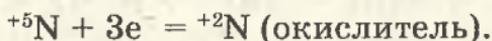
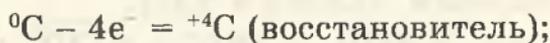
7.7. Методом электронного баланса расставьте коэффициенты в схеме окислительно-восстановительной реакции



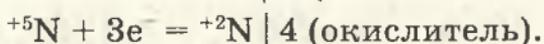
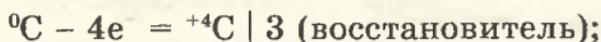
**Решение.** Указываем степени окисления у тех элементов, которые ее изменили:



Составляем электронные уравнения:



Определяем коэффициенты перед восстановителем и окислителем, учитывая, что число принятых электронов окислителем равно числу отданных электронов восстановителем:



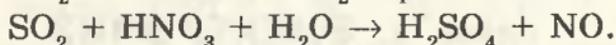
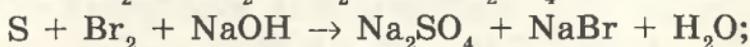
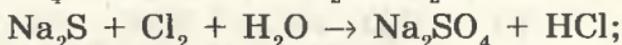
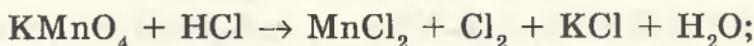
Расставляем коэффициенты перед окислителем и восстановителем:



Определяем коэффициент перед водой:

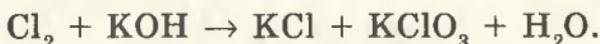


**7.8.** Методом электронного баланса расставьте коэффициенты в схемах окислительно-восстановительных реакций:

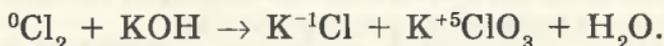


Определите окислитель и восстановитель.

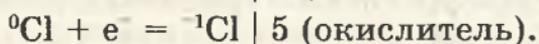
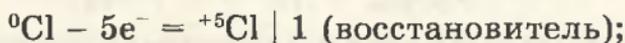
**7.9.** Методом электронного баланса расставьте коэффициенты в схеме окислительно-восстановительной реакции:



**Решение.** Указываем степени окисления у тех элементов, которые ее изменили:



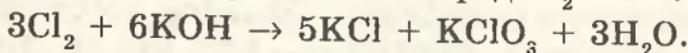
Определяем коэффициенты перед восстановителем и окислителем, учитывая, что число принятых электронов окислителем равно числу отданных электронов восстановителем:



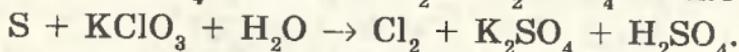
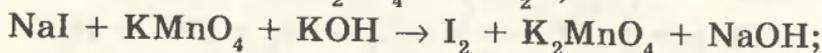
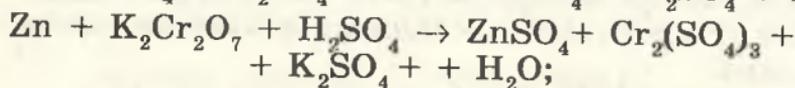
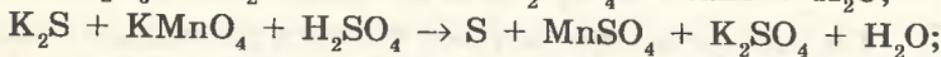
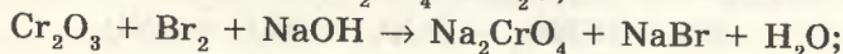
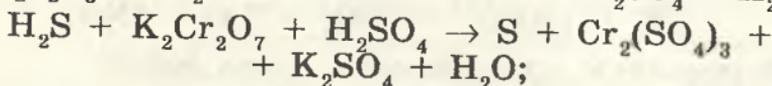
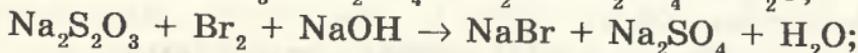
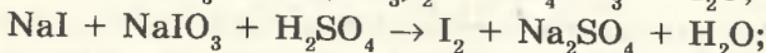
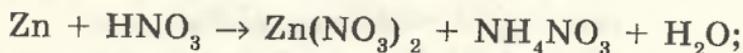
Расставляем коэффициенты перед окислителем и восстановителем, учитывая, что окислителем и восстановителем является хлор:



Определим коэффициенты перед  $\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{KOH}$ :



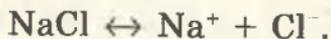
**7.10.** Методом электронного баланса расставьте коэффициенты в схемах окислительно-восстановительных реакций:



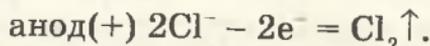
## Глава 8. ЭЛЕКТРОЛИЗ

**8.1.** Составьте уравнение электролиза расплава хлорида натрия с инертными электродами.

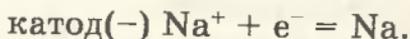
**Решение.** В расплаве хлорид натрия диссоциирует на ионы:



Под действием электрического тока анионы (отрицательно заряженные ионы) будут передвигаться к аноду и отдавать ему электроны:

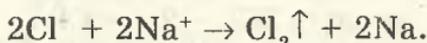
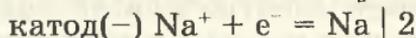
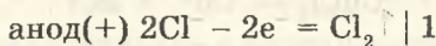


Катионы (положительно заряженные ионы) будут передвигаться к катоду и принимать от него электроны:

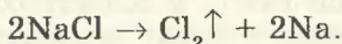


Суммируем уравнения процессов, протекающих на электродах. При этом необходимо учесть, что число

отданных восстановителем электронов должно быть равно числу электронов, принятых окислителем:



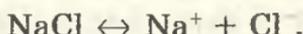
Перепишем уравнение в молекулярной форме:



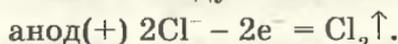
**8.2.** Составьте уравнение электролиза расплава бромида бария с инертными электродами.

**8.3.** Составьте уравнение электролиза раствора хлорида натрия с инертными электродами.

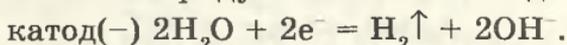
**Решение.** В растворе хлорид натрия диссоциирует на ионы:



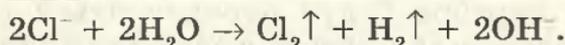
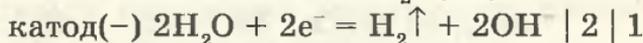
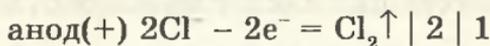
Под действием электрического тока ионы хлора будут передвигаться к аноду и окисляться:



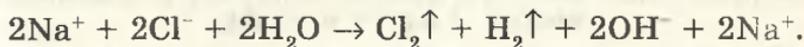
Ионы натрия будут накапливаться у катода, однако восстанавливаться будет вода, так как натрий в электрохимическом ряду металлов стоит до водорода:



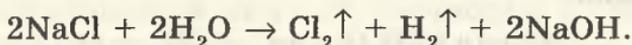
Суммируем уравнения процессов, протекающих на электродах:



Записываем полное ионное уравнение:



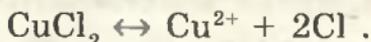
Перепишем уравнение в молекулярной форме:



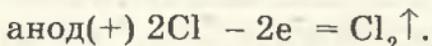
**8.4.** Составьте уравнение электролиза раствора бромида калия с инертными электродами.

**8.5.** Составьте уравнение электролиза раствора хлорида меди с инертными электродами.

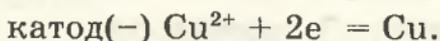
**Решение.** В растворе хлорид меди диссоциирует на ионы:



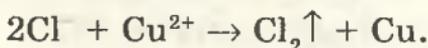
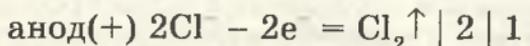
Под действием электрического тока ионы хлора будут передвигаться к аноду и окисляться:



Ионы меди будут передвигаться к катоду и восстанавливаться (медь в электрохимическом ряду металлов расположена после водорода):



Суммируем уравнения процессов, протекающих на электродах:

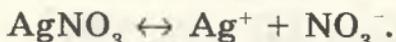


Переписываем уравнение в молекулярной форме:

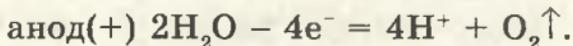


**8.6.** Составьте уравнение электролиза раствора нитрата серебра с инертными электродами.

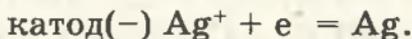
**Решение.** В растворе нитрат серебра диссоциирует на ионы:



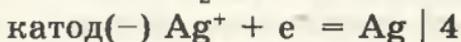
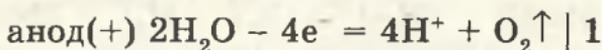
При электролизе водных растворов солей кислородсодержащих кислот на аноде будет окисляться вода:



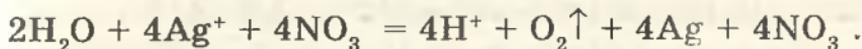
Ионы серебра будут передвигаться к катоду и восстанавливаться (серебро в электрохимическом ряду металлов расположено после водорода):



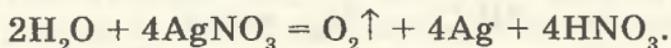
Суммируем уравнения процессов, протекающих на электродах:



Записываем уравнение в полной ионной форме:



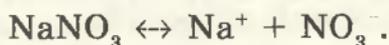
Переписываем уравнение в молекулярной форме:



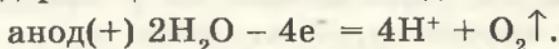
**8.7.** Составьте уравнение электролиза раствора сульфата меди (II) с инертными электродами.

**8.8.** Составьте уравнение электролиза раствора нитрата натрия с инертными электродами.

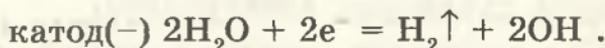
**Решение.** В растворе нитрат натрия диссоциирует на ионы:



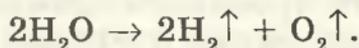
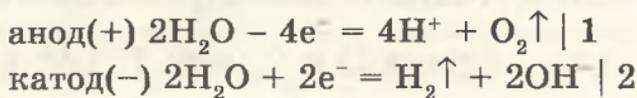
При электролизе водных растворов солей кислородсодержащих кислот на аноде окисляется вода:



Ионы натрия накапливаются у катода, однако восстанавливаться будет вода, так как натрий в электрохимическом ряду металлов стоит до водорода:



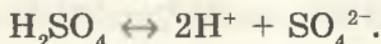
Составляем уравнение электролиза:



**8.9.** Составьте уравнение электролиза раствора сульфата калия с инертными электродами.

**8.10.** Составьте уравнение электролиза раствора серной кислоты с инертными электродами.

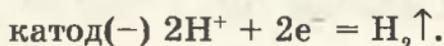
**Решение.** В растворе серная кислота диссоциирует на ионы:



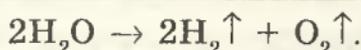
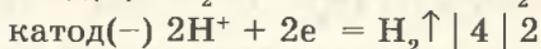
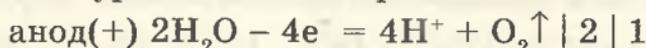
При электролизе водных растворов кислородсодержащих кислот на аноде будет окисляться вода:



Ионы водорода восстанавливаются на катоде:

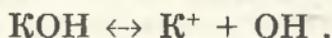


Составим уравнение электролиза:

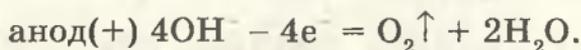


**8.11.** Составьте уравнение электролиза раствора гидроксида калия с инертными электродами.

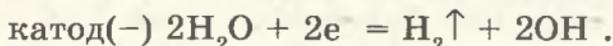
**Решение.** В растворе гидроксид калия диссоциирует на ионы:



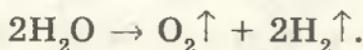
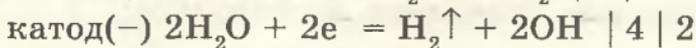
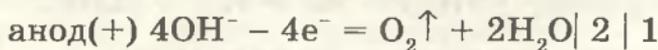
При электролизе водных растворов щелочей на аноде будут окисляться ионы  $\text{OH}^-$ :



Ионы калия накапливаются у катода, однако восстанавливается вода, так как калий в электрохимическом ряду металлов стоит до водорода:



Составляем уравнение электролиза:



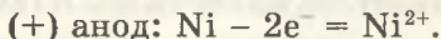
**8.12.** Составьте уравнение электролиза раствора бромоводородной кислоты с инертными электродами и раствора гидроксида натрия с инертными электродами.

**8.13.** Какие процессы будут протекать на электродах при электролизе раствора сульфата никеля с никелевыми электродами?

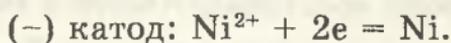
**Решение.** В растворе сульфат никеля диссоциирует на ионы:



На аноде происходит окисление никеля, т.е. анод растворяется:



На катоде ионы никеля будут восстанавливаться:



8.14. Какие процессы будут протекать на электродах при электролизе раствора сульфата меди (II) с медными электродами?

8.15. Какая масса натрия выделится при электролизе 5,85 г расплава хлорида натрия?

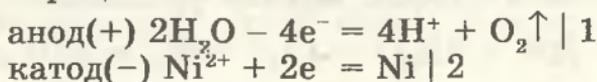
Ответ: 2,3 г.

8.16. Какой объем хлора (н.у.) выделится при электролизе 14,9 г расплава хлорида калия?

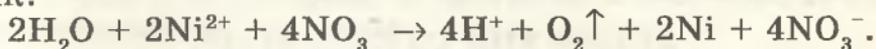
Ответ: 2,24 л.

8.17. При электролизе водного раствора нитрата никеля (II) с инертными электродами выделился кислород объемом 44,8 л (н.у.). Определите массу полученного никеля. Известно, что выход кислорода равен 100 %, а никеля — 80 %.

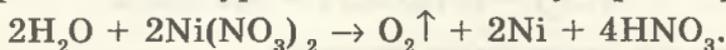
**Решение.** Составляем уравнение реакций электролиза. На электродах будут происходить следующие процессы:



В полной ионной форме уравнение будет выглядеть так:



Переписываем уравнение в молекулярной форме:



Рассчитываем количество кислорода:

$$v(\text{O}_2) = V(\text{O}_2)/22,4 \text{ л/моль} ; v(\text{O}_2) = 44,8/22,4 = 2 \text{ моль}.$$

Согласно уравнению реакции

$$v(\text{Ni}) = 2v(\text{O}_2); v(\text{Ni}) = 2 \cdot 2 = 4 \text{ моль}.$$

Рассчитываем массу никеля при 100% -ном выходе:

$$m_{\text{теор}}(\text{Ni}) = v(\text{Ni}) \cdot M(\text{Ni}); m(\text{Ni}) = 4 \cdot 59 = 236 \text{ г}.$$

Определяем практически полученную массу никеля:

$$m_{\text{практ}}(\text{Ni}) = (\eta(\text{Ni}) \cdot m_{\text{теор}})/100 \% ;$$

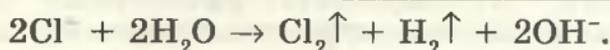
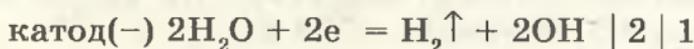
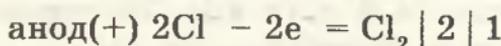
$$m_{\text{практ}}(\text{Ni}) = (236 \cdot 80)/100 = 189 \text{ г}.$$

8.18. При электролизе водного раствора хлорида меди (II) с инертными электродами выделились хлор объемом 2,24 л (н.у.) и медь массой 5,5 г. Определите выход меди. Известно, что выход хлора равен 100 %.

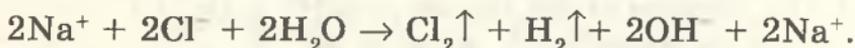
Ответ: 86 %.

8.19. В результате электролиза водного раствора хлорида натрия выделилось 6,72 л (н.у.) хлора. Масса раствора после электролиза равна 80 г. Определите массовую долю (в процентах) гидроксида натрия в полученном растворе.

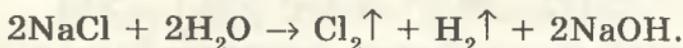
**Решение.** Составим уравнения процессов, протекающих на электродах:



Записываем полное ионное уравнение:



Перепишем уравнение в молекулярной форме:



Определяем количество хлора:

$$v(\text{Cl}_2) = V(\text{Cl}_2)/22,4 \text{ л/моль};$$

$$v(\text{Cl}_2) = 6,72/22,4 = 0,3 \text{ моль}.$$

Согласно уравнению реакции

$$v(\text{NaOH}) = 2v(\text{Cl}_2);$$

$$v(\text{NaOH}) = 2 \cdot 0,3 = 0,6 \text{ моль}.$$

Рассчитываем массу гидроксида натрия:

$$m(\text{NaOH}) = v(\text{NaOH}) \cdot M(\text{NaOH});$$

$$m(\text{NaOH}) = 0,6 \cdot 40 = 24 \text{ г}.$$

Вычисляем массовую долю NaOH в растворе:

$$\omega(\text{NaOH}) = \frac{m(\text{NaOH})}{m(\text{р-ра})} \cdot 100 \%;$$

$$\omega(\text{NaOH}) = \frac{24}{80} \cdot 100 = 30 \%.$$

**8.20.** В результате электролиза водного раствора нитрата платины (II) выделилось 1,12 л (н.у.) кислорода. Масса раствора после электролиза равна 80 г. Определите массовую долю (в процентах) азотной кислоты в растворе.

Ответ: 15,8 %.

**8.21.** В результате электролиза раствора сульфата меди (II) масса катода увеличилась на 10 г. Определите, насколько уменьшилась масса медного анода.

Ответ: 10 г.

**8.22.** В результате электролиза раствора сульфата никеля (II) масса катода увеличилась на 5 г. Определите, насколько уменьшилась масса никелевого анода.

Ответ: 5 г.

**8.23.** При электролизе раствора серной кислоты с инертными электродами выделилось на катоде 2,24 л (н.у.)  $H_2$ . Определите, какой объем кислорода (н.у.) выделился на аноде.

Ответ: 1,12 л.

**8.24.** При электролизе раствора гидроксида калия с инертными электродами выделилось на катоде 4,48 л (н.у.)  $H_2$ . Определите, какой объем кислорода (н.у.) выделился на аноде.

Ответ: 2,24 л.

## НЕОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

## Глава 9. ВОДОРОД, ГАЛОГЕНЫ

9.1. Определите число электронов, протонов и нейтронов в составе атома водорода и иона водорода.

9.2. Составьте электронную формулу атома и иона водорода.

9.3. Определите степень окисления водорода в соединениях:  $H_2$ ,  $HCl$ ,  $H_2O_2$ ,  $NaHCO_3$ ,  $H_2SO_4$ ,  $NaNH_2$ ,  $CaH_2$ .

9.4. Массовая доля водорода в химическом соединении, содержащем водород и неизвестный химический элемент (А), равна 5,88 %. Определите химический элемент А. Степень окисления А в данном соединении равна (-2).

Ответ: S.

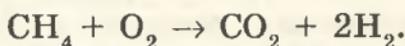
9.5. Какую массу (т) водорода по методу Боша можно получить из 6 т кокса, содержащего 95 % углерода, и воды, взятой в избытке? В этом процессе водяной пар пропускают над раскаленным коксом. В результате реакции образуются  $H_2$  и  $CO$ . Затем к смеси добавляют новую порцию пара и пропускают ее над катализатором ( $Fe_2O_3$ ) при  $450^\circ C$ , в результате этого  $CO$  реагирует с  $H_2O$  с образованием  $CO_2$  и  $H_2$ . Выход  $H_2$  и  $CO$  на первой стадии процесса равен 90 %, на второй стадии выход  $H_2$  — 95 %.

Ответ: 1,665 т.

9.6. Водород может быть получен из природного газа путем каталитического окисления метана ( $CH_4$ ) кислородом. Какой объем  $H_2$  (в метрах кубических) можно получить из 32 кг метана, если производственные

потери составляют 15 %? Объем определите при давлении 303,9 кПа и температуре 25 °С.

**Решение.** Записываем уравнение реакции:



Рассчитываем количество метана:

$$\nu(\text{CH}_4) = m(\text{CH}_4)/M(\text{CH}_4); \nu(\text{CH}_4) = 32/16 = 2 \text{ кмоль.}$$

Определяем количество водорода при 100%-ном выходе. Согласно уравнению реакции

$$\nu_{\text{теор}}(\text{H}_2) = 2\nu(\text{CH}_4); \nu_{\text{теор}}(\text{H}_2) = 2 \cdot 2 = 4 \text{ кмоль.}$$

Находим объем (н.у.) водорода при 100%-ном выходе:

$$V_{\text{теор}}(\text{H}_2) = \nu(\text{H}_2) \cdot 22,4 \text{ м}^3/\text{кмоль};$$

$$V_{\text{теор}}(\text{H}_2) = 4 \cdot 22,4 = 89,6 \text{ м}^3.$$

Вычисляем практически полученный объем (н.у.) водорода, учитывая, что выход водорода равен 85 % (100 % - 15 %):

$$V_{0 \text{ практ}}(\text{H}_2) = \eta \cdot V_{\text{теор}}(\text{H}_2)/100 \%,$$

$$V_{0 \text{ практ}}(\text{H}_2) = 85 \cdot 89,6/100 = 76,2 \text{ м}^3.$$

Определяем объем водорода при заданных условиях, учитывая, что  $T = (273 + 25)\text{К} = 298 \text{ К}$ :

$$V(\text{H}_2) = P_0 V_0 T / P \cdot T_0,$$

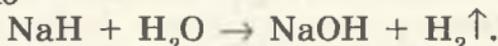
$$V(\text{H}_2) = (101,3 \cdot 76,2 \cdot 98)/(303,9 \cdot 273) = 27,7 \text{ м}^3.$$

**9.7.** Какой объем водорода (н.у.) выделится, если в раствор гидроксида калия с массовой долей KOH 30 %, объемом 50 мл и плотностью 1,29 г/мл поместить 6,5 г цинка?

Ответ: 2,24 л.

**9.8.** 12 г гидрида натрия растворили в 50 г H<sub>2</sub>O. Определите массовую долю (в процентах) гидроксида натрия в полученном растворе.

**Решение.** Гидрид натрия с водой будет реагировать по уравнению



Определяем вещество, взятое в избытке. Для этого рассчитываем количества гидрида натрия и воды:

$$\nu(\text{NaN}) = m(\text{NaN})/M(\text{NaN}); \nu(\text{NaN}) = 12/24 = 0,5 \text{ моль};$$

$$v(\text{H}_2\text{O}) = m(\text{H}_2\text{O})/M(\text{H}_2\text{O}); v(\text{H}_2\text{O}) = 50/18 = 2,78 \text{ моль.}$$

Согласно уравнению реакции с 0,5 моль гидрида натрия прореагирует 0,5 моль воды. Следовательно, вода находится в избытке. Расчеты проводим по гидриду натрия. Определяем количество гидроксида натрия. В соответствии с уравнением реакции:

$$v(\text{NaOH}) = v(\text{NaH}); v(\text{NaOH}) = 0,5 \text{ моль.}$$

Находим массу гидроксида натрия в растворе:

$$m(\text{NaOH}) = v(\text{NaOH}) \cdot M(\text{NaOH});$$

$$m(\text{NaOH}) = 0,5 \cdot 40 = 20 \text{ г.}$$

Для расчета массовой доли гидроксида натрия необходимо определить массу раствора. Для этого вначале рассчитываем количество водорода, выделившегося в реакции. Согласно уравнению

$$v(\text{H}_2) = v(\text{NaH}); v(\text{H}_2) = 0,5 \text{ моль.}$$

Затем рассчитываем массу водорода:

$$m(\text{H}_2) = v(\text{H}_2) \cdot M(\text{H}_2);$$

$$m(\text{H}_2) = 0,5 \cdot 2 = 1 \text{ г.}$$

При вычислении массы раствора необходимо учитывать, что водород удаляется из сферы реакции:

$$m(\text{р-ра}) = m(\text{H}_2\text{O}) + m(\text{NaH}) - m(\text{H}_2);$$

$$m(\text{р-ра}) = 50 + 12 - 1 = 61 \text{ г.}$$

Вычисляем массовую долю гидроксида натрия:

$$\omega(\text{NaOH}) = \frac{m(\text{NaOH})}{m(\text{р-ра})} \cdot 100 \%;$$

$$\omega(\text{NaOH}) = \frac{20}{61} \cdot 100 = 33 \%.$$

**9.9.** В результате реакции между 2 г гидрида неизвестного одновалентного металла и воды, взятой в избытке, выделился водород объемом 1,12 л (н.у.). Определите металл в составе гидрида.

Ответ: К.

**9.10.** Объемные доли  $H_2$  и  $NH_3$  в смеси соответственно равны 80 и 20 %. Определите массовую долю водорода в смеси.

Ответ: 32 %.

**9.11.** Определите относительную плотность по воздуху газовой смеси, состоящей из  $H_2$ ,  $N_2$  и  $NH_3$ , массовые доли которых соответственно равны 5, 50 и 45 %.

**Решение.** Выбираем образец газовой смеси массой 100 г. Находим массы водорода, азота и аммиака в образце:

$$m(H_2) = (\omega(H_2) \cdot m(\Gamma))/100 \%;$$

$$m(H_2) = (5 \cdot 100)/100 = 5 \text{ г};$$

$$m(N_2) = (\omega(N_2) \cdot m(\Gamma))/100 \%;$$

$$m(N_2) = (50 \cdot 100)/100 = 50 \text{ г};$$

$$m(NH_3) = (\omega(NH_3) \cdot m(\Gamma))/100 \%;$$

$$m(NH_3) = (45 \cdot 100)/100 = 45 \text{ г}.$$

Вычисляем количества водорода, азота и аммиака:

$$\nu(H_2) = m(H_2)/M(H_2); \nu(H_2) = 5/2 = 2,50 \text{ моль};$$

$$\nu(N_2) = m(N_2)/M(N_2); \nu(N_2) = 50/28 = 1,79 \text{ моль};$$

$$\nu(NH_3) = m(NH_3)/M(NH_3); \nu(NH_3) = 45/17 = 2,65 \text{ моль}.$$

Количество газовой смеси равно сумме количеств водорода, азота и аммиака:

$$\nu(\Gamma) = \nu(H_2) + \nu(N_2) + \nu(NH_3);$$

$$\nu(\Gamma) = 2,50 + 1,79 + 2,65 = 6,94 \text{ моль}.$$

Рассчитываем молярную массу газовой смеси:

$$M(\Gamma) = m(\Gamma)/\nu(\Gamma); M(\Gamma) = 100/6,94 = 14,4 \text{ г/моль}.$$

Определяем относительную плотность смеси по воздуху:

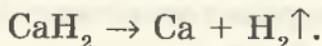
$$D = M(\Gamma)/M(\text{воздуха}); D = 14,4/29 = 0,5.$$

**9.12.** Газ, полученный при взаимодействии водорода и серы, пропустили через избыток раствора  $CuSO_4$ . В результате реакции выпал осадок массой 4,8 г. Определите объем (н.у.) водорода, вступившего в реакцию.

Ответ: 1,12 л.

**9.13.** Водород, полученный в результате термического разложения гидрида кальция массой 2,1 г, пропустили над раскаленным оксидом меди (II) массой 8 г. Определите массовую долю (в процентах) меди в твердом остатке.

**Решение.** Гидрид кальция при температурной обработке разлагается на кальций и водород:



Рассчитываем количество гидрида кальция:

$$\nu(\text{CaH}_2) = M(\text{CaH}_2); \nu(\text{CaH}_2) = 2,1/42 = 0,05 \text{ моль.}$$

Определяем количество водорода. Согласно уравнению реакции

$$\nu(\text{H}_2) = \nu(\text{CaH}_2); \nu(\text{H}_2) = 0,05 \text{ моль.}$$

Записываем уравнение реакции взаимодействия оксида меди и водорода:



Вычисляем по водороду количество меди, образовавшейся в результате реакции. Из уравнения реакции следует, что

$$\nu(\text{Cu}) = \nu(\text{H}_2); \nu(\text{Cu}) = 0,05 \text{ моль.}$$

Находим массу меди:

$$m(\text{Cu}) = \nu(\text{Cu}) \cdot M(\text{Cu});$$

$$m(\text{Cu}) = 0,05 \cdot 64 = 3,2 \text{ г.}$$

Рассчитываем количество оксида меди, вступившего в реакцию. В соответствии с уравнением реакции

$$\nu(\text{CuO}) = \nu(\text{H}_2); \nu(\text{CuO}) = 0,05 \text{ моль.}$$

Вычисляем массу прореагировавшего оксида меди:

$$m_1(\text{CuO}) = \nu(\text{CuO}) \cdot M(\text{CuO});$$

$$m_1(\text{CuO}) = 0,05 \cdot 80 = 4 \text{ г.}$$

Масса оксида меди, не вступившего в реакцию, равна разнице между исходной массой оксида меди и массой прореагировавшего оксида меди:

$$m_2(\text{CuO}) = 8 - 4 = 4 \text{ г.}$$

Масса твердого остатка после реакции равна сумме масс образовавшейся меди и непрореагировавшего оксида меди:

$$m(\text{остатка}) = m(\text{Cu}) + m_2(\text{CuO});$$

$$m(\text{остатка}) = 3,2 + 4 = 7,2 \text{ г.}$$

Определяем массовую долю меди в твердом остатке:

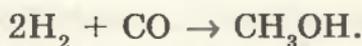
$$\omega(\text{Cu}) = \frac{m(\text{Cu})}{m(\text{остатка})} \cdot 100 \%;$$

$$\omega(\text{Cu}) = \frac{3,2}{7,2} \cdot 100 = 44 \%.$$

**9.14.** Какой минимальный объем раствора серной кислоты ( $\rho = 1,14$  г/мл) с массовой долей  $\text{H}_2\text{SO}_4$  19,6 % нужно взять для реакции с магнием для получения  $\text{H}_2$ , которым можно было бы восстановить 2,32 г  $\text{WO}_3$  до вольфрама?

Ответ: 13,2 мл.

**9.15.** Водород в промышленности используют для получения метанола по реакции:

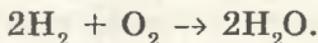


Реакция протекает при 400 °С и давлении 300 атм. в присутствии катализаторов  $\text{ZnO}$  и  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ . Какую массу (в тоннах) метанола можно получить из 5,6 т оксида углерода (II) и 0,88 т водорода, если производственные потери составляют 15 %?

Ответ: 5,44 т.

**9.16.** Первоначальное давление в сосуде, содержащем кислород и водород, при 20 °С равно 4 атм. После реакции между компонентами смеси и охлаждения сосуда до 20 °С давление стало равным 1 атм. Определите молярную долю (в процентах) водорода в исходной смеси, если известно, что кислород для реакции был взят в избытке.

**Решение.** Записываем уравнение реакции:



Вода при 20 °С и давлении, равном 1 атмосфере, является жидкостью. В связи с этим давлением, создаваемым ею в сосуде, можно пренебречь. Следовательно, давление в сосуде после реакции будет создаваться кислородом, не вступившим в реакцию. Для газообразных веществ давление в системе пропорционально количеству газа:

$$P_2/P_1 = v_2/v_1; v_2/v_1 = 1/4.$$

Таким образом, количество газа после реакции в сосуде составит четвертую часть количества исходной газовой смеси (25 %). По условию этим газом будет непрореагировавший кислород, его молярная доля в исходной смеси равна 25 %.

Следовательно, 75 % количества смеси прореагировало. Согласно уравнению реакции с 2 моль водорода реагирует 1 моль кислорода.

Отсюда следует, что

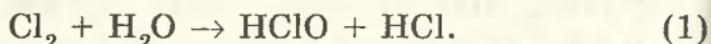
$$\chi(\text{H}_2) = (75 \% \cdot 2)/3 = 50 \%$$

**9.17.** Определите число электронов, протонов и нейтронов в составе атомов иода, хлора, фтора и иона брома.

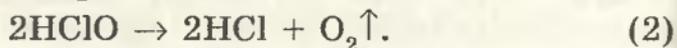
**9.18.** Составьте электронную формулу ионов  $\text{Br}^-$  и  $\text{Cl}^-$ .

**9.19.** Хлор растворили в воде. Раствор выставили на солнечный свет. Через некоторое время выделился газ объемом 56 мл (н.у.). Определите при 27 °С и давлении 130 кПа объем (в миллилитрах) хлора, растворенного в воде.

**Решение.** При растворении хлора в воде образуется хлорноватистая и хлороводородная кислоты:



Хлорноватистая кислота на свету разлагается с образованием кислорода:



Определяем количество выделившегося кислорода:

$$\nu(\text{O}_2) = V(\text{O}_2)/22,4 \text{ л/моль};$$

$$\nu(\text{O}_2) = 0,056/22,4 = 0,0025 \text{ моль}.$$

Рассчитываем количество хлорноватистой кислоты. Согласно уравнению реакции (2)

$$\nu(\text{HClO}) = 2\nu(\text{O}_2); \nu(\text{HClO}) = 2 \cdot 0,0025 = 0,005 \text{ моль}.$$

Определяем количество растворенного хлора. В соответствии с уравнением реакции (1)

$$\nu(\text{Cl}_2) = \nu(\text{HClO}); \nu(\text{Cl}_2) = 0,005 \text{ моль}.$$

Вычисляем объем хлора при н.у.:

$$V_0(\text{Cl}_2) = \nu(\text{Cl}_2) \cdot 22,4 \text{ л/моль};$$

$$V_0(\text{Cl}_2) = 0,005 \cdot 22,4 = 0,112 \text{ л}.$$

Рассчитываем объем хлора при заданных условиях, учитывая, что  $T = (273 + 27)K = 300 K$ :

$$V(\text{Cl}_2) = P_0 V_0 T / P \cdot T_0;$$

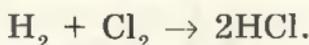
$$V(\text{Cl}_2) = (101,3 \cdot 0,112 \cdot 300) / (130 \cdot 273) = 0,096 \text{ л} = 96 \text{ мл.}$$

**9.20.** Какой объем хлора (в литрах) при давлении 140 кПа и 20 °С нужно взять для получения  $\text{I}_2$  из технического иодида калия массой 10 г, содержащего 5 % иоднесодержащих примесей?

Ответ: 0,50 л.

**9.21.** Смесь водорода и хлора объемом 12 л облучили светом. Через некоторое время установили, что объем хлороводорода равен 3 л и в реакцию вступило 30 %  $\text{Cl}_2$ . Определите объемную долю  $\text{Cl}_2$  в конечной смеси. Все объемы приведены к н.у.

**Решение.** Записываем уравнение реакции:



Рассчитываем количество хлороводорода:

$$v(\text{HCl}) = V(\text{HCl}) / 22,4 \text{ л/моль};$$

$$v(\text{HCl}) = 3 / 22,4 = 0,134 \text{ моль.}$$

Определяем количества водорода и хлора, вступивших в реакцию. Согласно уравнению реакции:

$$v(\text{H}_2) = 0,5v(\text{HCl}); v(\text{H}_2) = 0,5 \cdot 0,134 = 0,067 \text{ моль};$$

$$v(\text{Cl}_2) = 0,5v(\text{HCl}); v(\text{Cl}_2) = 0,5 \cdot 0,134 = 0,067 \text{ моль.}$$

Рассчитываем объемы водорода и хлора, вступивших в реакцию:

$$V_1(\text{H}_2) = v(\text{H}_2) \cdot 22,4 \text{ л/моль};$$

$$V_1(\text{H}_2) = 0,067 \cdot 22,4 = 1,5 \text{ л};$$

$$V_1(\text{Cl}_2) = v(\text{Cl}_2) \cdot 22,4 \text{ л/моль};$$

$$V_1(\text{Cl}_2) = 0,067 \cdot 22,4 = 1,5 \text{ л.}$$

Находим объем хлора в исходной смеси, учитывая, что его прореагировало 30 %. Для этого составляем пропорцию:

$$1,5 \text{ л } \text{Cl}_2 \text{ — } 30 \%;$$

$$z \text{ л } \text{Cl}_2 \text{ — } 100 \%;$$

$$z = V_2(\text{Cl}_2) = 5 \text{ л.}$$

Объем водорода в исходной смеси равен разности объемов исходной смеси и хлора:

$$V_2(\text{H}_2) = 12 \text{ л} - 5 \text{ л} = 7 \text{ л}.$$

Объемы водорода и хлора в конечной смеси определяем следующим образом:

$$V_3(\text{H}_2) = V_2(\text{H}_2) - V_1(\text{H}_2); V_3(\text{H}_2) = 7 - 1,5 = 5,5 \text{ л};$$

$$V_3(\text{Cl}_2) = V_2(\text{Cl}_2) - V_1(\text{Cl}_2); V_3(\text{Cl}_2) = 5 - 1,5 = 3,5 \text{ л}.$$

Находим объем конечной смеси:

$$V(\text{r}) = V_3(\text{Cl}_2) + V_3(\text{H}_2) + V(\text{HCl}) = 3,5 + 5,5 + 3 = 12 \text{ л}.$$

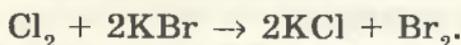
Рассчитываем объемную долю хлора в конечной смеси:

$$\varphi(\text{Cl}_2) = \frac{V_2(\text{Cl}_2)}{V(\text{r})} \cdot 100 \%;$$

$$\varphi(\text{Cl}_2) = \frac{3,5}{12} \cdot 100 = 29,2 \%.$$

**9.22.** Смесь хлорида калия и бромида калия массой 16,5 г растворили в воде. Через раствор пропустили избыток хлора. После упаривания масса твердого остатка оказалась на 4,45 г меньше исходной массы солей. В результате упаривания  $\text{Br}_2$  и  $\text{Cl}_2$  были полностью удалены. Определите массовую долю (в процентах)  $\text{KBr}$  в исходной смеси.

**Решение.** Составляем уравнение реакции:



Из уравнения реакции видно, что, если в реакцию вступят 2 моль бромида калия (238 г) и образуется 2 моль хлорида калия (149 г), изменение массы соли  $\Delta m$  составит 89 г (238 - 149). Определяем массу бромида калия. Для этого составляем пропорцию:

если в реакцию вступит 238 г  $\text{KBr}$ , то  $\Delta m = 89$  г;

»           »           »            $x$  г           »           4,45 г;

$$x = m(\text{KBr}) = 11,9 \text{ г}.$$

Рассчитываем массовую долю  $\text{KBr}$  в исходной смеси:

$$\omega(\text{KBr}) = \frac{m(\text{KBr})}{m(\text{смеси})} \cdot 100 \% ;$$

$$\omega(\text{KBr}) = \frac{11,9}{16,5} \cdot 100 = 72,1 \% .$$

**9.23.** Смесь  $\text{Cl}_2$  и  $\text{Br}_2$  массой 16,5 г пропустили через избыток раствора бромиды калия. После упаривания масса твердого остатка оказалась на 4,45 г меньше массы бромиды калия в растворе. В результате упаривания  $\text{Br}_2$  был полностью удален. Определите массовую долю (в процентах)  $\text{Br}_2$  в исходной смеси.

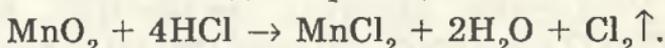
Ответ: 78,5 %.

**9.24.** Хлорид натрия массой 5,85 г обработали раствором серной кислоты с массовой долей  $\text{H}_2\text{SO}_4$  98 %, массой 20 г. Выделившийся газ пропустили через раствор нитрата серебра (взят в избытке). Определите массу образовавшегося осадка, если выход продукта в первой реакции равен 80 %, во второй — 100 %.

Ответ: 11,5 г.

**9.25.** Оксиды марганца (IV) массой 8,7 г обработали избытком раствора соляной кислоты. Выделившийся газ (выход продукта равен 90 %) смешали с 2,24 л (н.у.) водорода. Определите относительную плотность полученной газовой смеси по кислороду.

**Решение.** Составляем уравнение реакции взаимодействия оксиды марганца и соляной кислоты:



Рассчитываем количество оксиды марганца:

$$v(\text{MnO}_2) = m(\text{MnO}_2) / M(\text{MnO}_2);$$

$$v(\text{MnO}_2) = 8,7 / 87 = 0,1 \text{ моль} .$$

Определяем количество выделившегося газа ( $\text{Cl}_2$ ) при количественном (100%-ном) выходе. Согласно уравнению реакции:

$$v_{\text{теор}}(\text{Cl}_2) = v(\text{MnO}_2); v_{\text{теор}}(\text{Cl}_2) = 0,1 \text{ моль} .$$

Рассчитываем практически полученное количество газа ( $\text{Cl}_2$ ):

$$v_{\text{практ}}(\text{Cl}_2) = v_{\text{теор}}(\text{Cl}_2) \cdot \eta(\text{Cl}_2) / 100 \% ;$$

$$v_{\text{практ}}(\text{Cl}_2) = (0,1 \cdot 90) / 100 = 0,09 \text{ моль} .$$

Находим количество водорода:

$$v(\text{H}_2) = V(\text{H}_2)/22,4 \text{ л/моль};$$

$$v(\text{H}_2) = 2,24/22,4 = 0,1 \text{ моль.}$$

Вычисляем массы водорода и хлора:

$$m(\text{H}_2) = v(\text{H}_2) \cdot M(\text{H}_2); m(\text{H}_2) = 0,1 \cdot 2 = 0,2 \text{ г};$$

$$m(\text{Cl}_2) = v(\text{Cl}_2) \cdot M(\text{Cl}_2); m(\text{Cl}_2) = 0,09 \cdot 71 = 6,39 \text{ г.}$$

Масса газовой смеси равна сумме масс водорода и хлора:

$$m(\text{г}) = m(\text{H}_2) + m(\text{Cl}_2); m(\text{г}) = 0,2 + 6,39 = 6,59 \text{ г.}$$

Количество газовой смеси равно сумме количеств водорода и хлора:

$$v(\text{г}) = v(\text{H}_2) + v(\text{Cl}_2); v(\text{г}) = 0,1 + 0,09 = 0,19 \text{ моль.}$$

Определяем молярную массу газовой смеси:

$$M(\text{г}) = m(\text{г})/v(\text{г}); M(\text{г}) = 6,59/0,19 = 34,7 \text{ г/моль.}$$

Находим относительную плотность газовой смеси по кислороду:

$$D = M(\text{г})/M(\text{O}_2); D = 34,7/32 = 1,08.$$

**9.26.** В результате электролиза водного раствора хлорида калия массой 200 г выделилось 2,24 л (н.у.) хлора. Определите массовую долю (в процентах) гидроксида калия в растворе по окончании электролиза.

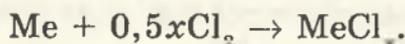
Ответ: 5,8 %.

**9.27.** Установите формулу соединения, массовые доли H, Cl и O в котором соответственно равны 1; 35,5 и 64 %.

Ответ:  $\text{HClO}_4$ .

**9.28.** Неизвестный металл массой 13,5 г вступил в реакцию с 16,8 л (н.у.) хлора. Определите неизвестный металл.

**Решение.** В условии задачи не указана валентность неизвестного металла. Примем валентность металла, равную  $x$ . Запишем уравнение реакции в общем виде:



Вычисляем количество хлора:

$$v(\text{Cl}_2) = V(\text{Cl}_2)/22,4 \text{ л/моль};$$

$$v(\text{Cl}_2) = 16,8/22,4 = 0,75 \text{ моль.}$$

Выражаем количество металла:

$$v(\text{Me}) = m(\text{Me})/M(\text{Me}); v(\text{Me}) = 13,5/M(\text{Me}). \quad (1)$$

Согласно уравнению реакции:

$$v(\text{Me}) = n(\text{Cl}_2)/0,5x; v(\text{Me}) = 0,75/0,5x. \quad (2)$$

Из уравнений (1) и (2) следует, что

$$13,5/M(\text{Me}) = 0,75/0,5x. \quad (3)$$

Преобразуем уравнение (3):

$$M(\text{Me}) = 9x.$$

Пусть валентность металла равна единице ( $x = 1$ ), тогда его молярная масса равна 9 г/моль. Металл с такой молярной массой не существует. Если валентность металла равна двум ( $x = 2$ ), то его молярная масса равна 18 г/моль. Такой металл также не существует.

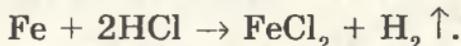
Допустим, валентность металла равна трем ( $x = 3$ ), тогда его молярная масса будет равна 27 г/моль. Металлом с такой молярной массой является алюминий. Алюминий в соединениях имеет валентность, равную трем. Следовательно, искомый металл — алюминий.

**9.29.** Неизвестный металл массой 20 г вступил в реакцию с 11,2 л (н.у.) фтора. Определите неизвестный металл.

Ответ: Са.

**9.30.** Образец железа прореагировал с соляной кислотой. Другой образец железа такой же массы прореагировал с хлором. Оказалось, что масса хлора, вступившего в реакцию, больше массы HCl на 3,35 г. Определите массу железа в образце.

**Решение.** Записываем уравнение реакции взаимодействия соляной кислоты с железом:



Принимаем количество железа, равное  $x$ .

Вначале выражаем количество соляной кислоты, вступившей в реакцию. Согласно уравнению реакции

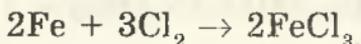
$$v(\text{HCl}) = 2v(\text{Fe}); v(\text{HCl}) = 2x.$$

Затем выражаем массу соляной кислоты:

$$m(\text{HCl}) = v(\text{HCl}) \cdot M(\text{HCl});$$

$$m(\text{HCl}) = 2x \cdot 36,5 = 73x.$$

Записываем уравнение реакции взаимодействия железа и хлора:



Выражаем количество хлора, вступившего в реакцию. Согласно уравнению реакции

$$v(\text{Cl}_2) = 1,5v(\text{Fe}); v(\text{Cl}_2) = 1,5x.$$

Далее выражаем массу хлора:

$$m(\text{Cl}_2) = v(\text{Cl}_2) \cdot M(\text{Cl}_2); m(\text{Cl}_2) = 1,5x \cdot 71 = 106,5x.$$

Согласно условию масса хлора, вступившего в реакцию, больше массы соляной кислоты на 3,35 г:

$$m(\text{Cl}_2) - m(\text{HCl}) = 3,35 \text{ г.}$$

В последнее уравнение подставим значения масс хлора и соляной кислоты:

$$106,5x - 73x = 3,35.$$

Решаем уравнение:

$$x = v(\text{Fe}) = 0,1 \text{ моль.}$$

Находим массу железа:

$$m(\text{Fe}) = v(\text{Fe}) \cdot M(\text{Fe});$$

$$m(\text{Fe}) = 0,1 \cdot 56 = 5,6 \text{ г.}$$

**9.31.** Образец железа прореагировал с соляной кислотой. Другой образец железа такой же массы прореагировал с хлором. Масса хлорида железа, образовавшегося в результате второй реакции, оказалась больше массы хлорида железа, образовавшегося в результате первой реакции, на 3,55 г. Определите массу железа в образце.

Ответ: 5,6 г.

**9.32.** Определите степень диссоциации (в процентах) бромноватой кислоты ( $\text{HBrO}_3$ ) в растворе, содержащем 0,2 моль ионов и 0,2 моль молекул.

Ответ: 33,3 %.

**9.33.** Смесь, содержащую  $\text{KF}$  и  $\text{KBr}$ , растворили в воде. К половине раствора добавили избыток раствора  $\text{CaCl}_2$ . В результате реакции выпал осадок массой 15,6 г. Ко второй половине добавили избыток раствора  $\text{AgNO}_3$ . При этом образовался осадок массой 18,8 г. Определите массовую долю  $\text{KF}$  в исходной смеси.

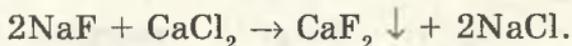
Ответ: 66 %.

9.34. 19,15 г смеси хлорида лития и хлорида калия растворили в воде. К раствору добавили избыток раствора фторида серебра, при этом образовался осадок массой 43,05 г. Определите массу KCl в смеси.

Ответ: 14,9 г.

9.35. Смесь, содержащую NaF, NaCl и NaBr (масса галогенидов равна 49,1 г), растворили в воде. К половине раствора добавили избыток раствора CaCl<sub>2</sub>. В результате реакции выпал осадок массой 7,8 г. Ко второй половине добавили избыток раствора AgNO<sub>3</sub>. При этом образовался осадок массой 33,15 г. Определите массовую долю хлорида натрия в исходной смеси.

Решение. В данном случае хлорид кальция реагирует с образованием осадка только с фторидом натрия:



Рассчитываем количество фторида кальция:

$$v(\text{CaF}_2) = m(\text{CaF}_2)/M(\text{CaF}_2);$$

$$v(\text{CaF}_2) = 7,8/78 = 0,1 \text{ моль}.$$

Определяем количество фторида натрия. Согласно уравнению реакции

$$v(\text{NaF}) = 2v(\text{CaF}_2);$$

$$v(\text{NaF}) = 2 \cdot 0,1 = 0,2 \text{ моль}.$$

Вычисляем массу фторида натрия:

$$m(\text{NaF}) = v(\text{NaF}) \cdot M(\text{NaF});$$

$$m(\text{NaF}) = 0,2 \cdot 42 = 8,4 \text{ г}.$$

Масса галогенидов в составе 1/2 части раствора равна:

$$49,1 : 2 = 24,55.$$

Тогда суммарная масса NaCl и NaBr в составе 1/2 части раствора будет равна:

$$24,55 - 8,4 = 16,15 \text{ г}.$$

Обозначаем количество хлорида натрия в составе 1/2 части раствора  $x$ ; количество бромида натрия в составе 1/2 части раствора —  $y$ .

Выражаем массы хлорида и бромида натрия:

$$m(\text{NaCl}) = v(\text{NaCl}) \cdot M(\text{NaCl}); m(\text{NaCl}) = 58,5x;$$

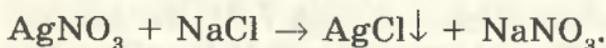
$$m(\text{NaBr}) = v(\text{NaBr}) \cdot M(\text{NaBr}); m(\text{NaBr}) = 103y.$$

Суммарная масса хлорида и бромида натрия равна 16,15 г:  
 $m(\text{NaCl}) + m(\text{NaBr}) = 16,15 \text{ г.}$

Подставляем в уравнение значения масс галогенидов натрия:

$$58,5x + 103y = 16,15. \quad (1)$$

В результате взаимодействия нитрата серебра и хлорида натрия образуется осадок хлорида серебра:



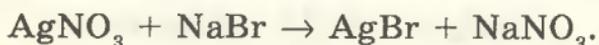
Определяем количество хлорида серебра, образовавшегося в данной реакции. Согласно уравнению реакции

$$v(\text{AgCl}) = v(\text{NaCl}); v(\text{AgCl}) = x.$$

Выражаем массу хлорида серебра:

$$m(\text{AgCl}) = v(\text{AgCl}) \cdot M(\text{AgCl}); m(\text{AgCl}) = 143,5x.$$

При взаимодействии нитрата серебра и бромида натрия образуется осадок бромида серебра:



Определяем количество бромида серебра, выпавшего в осадок. Из уравнения реакции следует, что

$$v(\text{AgBr}) = v(\text{NaBr}); v(\text{AgBr}) = y.$$

Выражаем массу бромида серебра:

$$m(\text{AgBr}) = v(\text{AgBr}) \cdot M(\text{AgBr}); m(\text{AgBr}) = 188y.$$

Масса осадка равна сумме масс хлорида и бромида серебра:

$$m(\text{AgCl}) + m(\text{AgBr}) = 33,15 \text{ г.}$$

В уравнение подставляем значения масс галогенидов серебра. Тогда

$$143,5x + 188y = 33,15. \quad (2)$$

Из уравнений (1) и (2) составляем систему

$$\begin{cases} 58,5x + 103y = 16,15, \\ 143,5x + 188y = 33,15. \end{cases}$$

Решив систему, получаем  $x = 0,1$ ;  $y = 0,1$  ( $x$  — количество хлорида натрия). Рассчитываем массу хлорида натрия в  $1/2$  части раствора:

$$m(\text{NaCl}) = \nu(\text{NaCl}) \cdot M(\text{NaCl});$$

$$m(\text{NaCl}) = 0,1 \cdot 58,5 = 5,85 \text{ г.}$$

Определяем массовую долю хлорида натрия:

$$\omega(\text{NaCl}) = \frac{m(\text{NaCl})}{m(\text{смеси})} \cdot 100 \%;$$

$$\omega(\text{NaCl}) = \frac{5,85}{24,55} \cdot 100 = 23,8 \%.$$

**9.36.** Какую массу HBr нужно растворить в 20 г раствора бромоводородной кислоты с массовой долей HBr 5 %, чтобы получить раствор с массовой долей кислоты 20 % ?

**Решение.** Рассчитываем массу бромоводорода в исходном растворе:

$$m(\text{HBr}) = (\omega(\text{HBr}) \cdot m(\text{р-ра}))/100 \%;$$

$$m(\text{HBr}) = (5 \cdot 20)/100 = 1 \text{ г.}$$

Обозначаем массу бромоводорода, которую необходимо добавить для получения 20% -ного раствора бромоводородной кислоты  $x$ .

Тогда масса бромоводорода в конечном растворе будет равна  $(x + 1 \text{ г})$ . Масса конечного раствора равна сумме масс исходного раствора и бромоводорода:

$$m_1(\text{р-ра}) = 20 + x.$$

В уравнение

$$\omega(\text{HBr}) = \frac{m(\text{HBr})}{m_1(\text{р-ра})} \cdot 100 \%$$

подставляем известные значения и получаем уравнение

$$20 \% = \frac{x+1}{20+x} \cdot 100 \%,$$

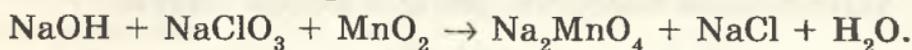
откуда

$$x = m(\text{HBr}) = 3,75 \text{ г.}$$

**9.37.** Какой объем (н.у.) хлороводорода нужно растворить в 200 г воды, чтобы получить раствор соляной кислоты с массовой долей 20 % ?

Ответ: 30,7 л.

**9.38.** Методом электронного баланса расставьте коэффициенты в схеме окислительно-восстановительной реакции:



Определите окислитель и восстановитель.

## Глава 10. ПОДГРУППА КИСЛОРОДА

**10.1.** Составьте электронную формулу атомов O, Se, Te.

**10.2.** Определите степень окисления кислорода в соединениях:  $\text{O}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$ ,  $\text{OF}_2$ ,  $\text{Cl}_2\text{O}_7$ ,  $\text{O}_2\text{F}_2$ ,  $\text{O}_2$ .

**10.3.** Определите, сколько теплоты выделится при сгорании 104 г ( $\text{C}_2\text{H}_2$ ). Известно, что при сгорании 1 моль  $\text{C}_2\text{H}_2$  выделяется 1300 кДж теплоты.

Ответ: 5200 кДж.

**10.4.** Какую массу (кг) кислорода можно получить из 30 м<sup>3</sup> воздуха? Объем измерен при давлении 95 кПа и температуре 27 °С. Объемная доля  $\text{O}_2$  в составе воздуха равна 21 %.

Ответ: 7,7 кг.

**10.5.** Сосуд объемом 6,154 л заполнили кислородом. Давление в сосуде равно 2 атм, температура 27 °С. Затем в сосуде пропустили электрический разряд. После приведения температуры к 27 °С давление в сосуде стало равным 1,9 атм. Определите массу образовавшегося озона.

**Решение.** Определяем объем кислорода при нормальных условиях, учитывая, что  $T = (273 + 27)\text{K} = 300\text{K}$ :

$$V_0(\text{O}_2) = P \cdot V \cdot T_0 / P_0 T;$$

$$V_0(\text{O}_2) = (2 \cdot 6,154 \cdot 273) / (1 \cdot 300) = 11,2 \text{ л.}$$

Вычисляем объем (н.у.) газа после реакции, принимая во внимание, что  $T = (273 + 27) = 300\text{K}$ :

$$V_0(\text{r}) = P \cdot V \cdot T_0 / P_0 T;$$

$$V_0(\text{r}) = (1,9 \cdot 6,154 \cdot 273) / (1 \cdot 300) = 10,64 \text{ л.}$$

Рассчитываем уменьшение объема после реакции:

$$\Delta V = V_0(\text{O}_2) - V_0(\text{r});$$

$$\Delta V = 11,2 - 10,64 = 0,56 \text{ л.}$$

При пропускании электрического разряда в сосуде, содержащем кислород, будет образовываться озон:



Согласно уравнению реакции при образовании 2 моль озона (96 г) из 3 моль кислорода объем уменьшится на 22,4 л:

$$\Delta V = V(\text{O}_2) - V(\text{O}_3) = 3 \cdot 22,4 \text{ л} - 2 \cdot 22,4 \text{ л} = 22,4 \text{ л}.$$

Определяем массу образовавшегося озона. Для этого составим пропорцию:

$$\Delta V = 22,4 \text{ л при образовании } 96 \text{ г } \text{O}_3,$$

$$\Delta V = 0,56 \text{ л} \quad \gg \quad \gg \quad x \text{ г } \text{O}_3;$$

$$x = m(\text{O}_3) = 2,4 \text{ г}.$$

**10.6.** 10 г технического хлората калия, содержащего 95 %  $\text{KClO}_3$  и 5 %  $\text{KCl}$ , нагрели в присутствии катализатора  $\text{MnO}_2$ . Какой объем (н.у.) газа выделился, если выход продукта реакции равен 85 %?

Ответ: 2,2 л.

**10.7.** Массовая доля кислорода в составе смеси  $\text{CO}$  и  $\text{CO}_2$  равна 64 %. Определите массовую долю  $\text{CO}$  в смеси.

**Решение.** Выбираем образец смеси массой 100 г. Рассчитываем массу кислорода в смеси:

$$\omega(\text{O}) = (m(\text{O})/m(\text{смеси})) \cdot 100 \%;$$

$$m(\text{O}) = (64 \cdot 100)/100 = 64 \text{ г}.$$

Масса углерода в составе смеси равна разнице масс образца и кислорода:

$$m(\text{C}) = m(\text{образца}) - m(\text{O});$$

$$m(\text{C}) = 100 \text{ г} - 64 \text{ г} = 36 \text{ г}.$$

Определяем количество углерода в газовой смеси:

$$v(\text{C}) = m(\text{C})/M(\text{C}); v(\text{C}) = 36/12 = 3 \text{ моль}.$$

Количество вещества в образце равно количеству углерода и сумме количеств  $\text{CO}$  и  $\text{CO}_2$ :

$$v(\text{образца}) = v(\text{C});$$

$$v(\text{образца}) = v(\text{CO}) + v(\text{CO}_2).$$

Из этого следует, что

$$v(\text{CO}) + v(\text{CO}_2) = 3 \text{ моль}.$$

Если обозначить количество CO в смеси  $x$ , тогда количество CO<sub>2</sub> в смеси равно  $(3 - x)$ .

Выражаем массы оксидов углерода в смеси:

$$m(\text{CO}) = \nu(\text{CO}) \cdot M(\text{CO}); m(\text{CO}) = x \cdot 28;$$

$$m(\text{CO}_2) = \nu(\text{CO}_2) \cdot M(\text{CO}_2); m(\text{CO}_2) = (3 - x) \cdot 44.$$

Масса образца равна сумме масс оксидов углерода и составляет 100 г:

$$m(\text{CO}) + m(\text{CO}_2) = 100 \text{ г.}$$

Подставляем в уравнение значение масс оксидов:

$$x \cdot 28 + (3 - x) \cdot 44 = 100.$$

Решаем уравнение:

$$x = \nu(\text{CO}) = 2 \text{ моль.}$$

Рассчитываем массу CO:

$$m(\text{CO}) = \nu(\text{CO}) \cdot M(\text{CO});$$

$$m(\text{CO}) = 2 \cdot 28 = 56 \text{ г.}$$

Определяем массовую долю CO:

$$\omega(\text{CO}) = \frac{m(\text{CO})}{m(\text{смеси})} \cdot 100 \%;$$

$$\omega(\text{CO}) = \frac{56}{100} \cdot 100 = 56 \%.$$

**10.8.** Массовая доля кислорода в составе смеси NO и N<sub>2</sub>O равна 40 %. Определите массовую долю NO в смеси.

Ответ: 21,4 %.

**10.9.** Массовая доля углерода в составе газовой смеси CO и CO<sub>2</sub> равна 36 %. Определите относительную плотность газовой смеси по водороду.

**Решение.** Для расчетов выбираем образец смеси массой 100 г. Определяем массу углерода в смеси:

$$m(\text{C}) = (\omega(\text{C}) \cdot m(\text{образца}))/100 \%;$$

$$m(\text{C}) = (36 \cdot 100)/100 = 36 \text{ г.}$$

Вычисляем количество углерода в газовой смеси:

$$\nu(\text{C}) = m(\text{C}) / M(\text{C}); \nu(\text{C}) = 36/12 = 3 \text{ моль.}$$

Количество вещества газовой смеси равно количеству углерода, т.е.

$$\nu(\text{смесь}) = 3 \text{ моль.}$$

Находим молярную массу газовой смеси:

$$M(\Gamma) = m(\Gamma)/v(\Gamma); M(\Gamma) = 100/3 = 33,3 \text{ г/моль.}$$

Определяем относительную плотность газовой смеси по водороду:

$$D = M(\Gamma)/M(\text{H}_2); D = 33,3/2 = 16,65.$$

**10.10.** Массовая доля кислорода в составе оксида двухвалентного металла равна 7,17 %. Определите металл.

Ответ: Pb.

**10.11.** Раствор пероксида водорода (массовая доля 20 %) имел массу 100 г. Через некоторое время масса раствора уменьшилась на 4 г. Определите массовую долю (в процентах)  $\text{H}_2\text{O}_2$  в конечном растворе. Уменьшение массы раствора не связано с испарением воды.

Ответ: 12 %.

**10.12.** Составьте электронную формулу иона  $\text{S}^{2-}$ .

**10.13.** Определите степень окисления серы в соединениях: S,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ .

**10.14.** Определите массовую долю серы (в процентах) в составе пирита ( $\text{FeS}_2$ ).

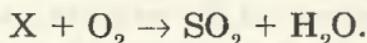
Ответ: 53 %.

**10.15.** 6 г железа сплавили с 3,2 г серы. Затем добавили избыток соляной кислоты. Выделившийся газ пропустили через избыток раствора  $\text{CuSO}_4$ . Определите массу образовавшегося осадка.

Ответ: 9,6 г.

**10.16.** В результате горения газообразного соединения X объемом 4,48 л (н.у.) образовалось 3,6 г воды и 4,48 л  $\text{SO}_2$  (н.у.). Определите химическую формулу вещества, если известно, что его плотность по оксиду углерода (IV) равна 0,773.

**Решение.** Записываем схему реакции:



Рассчитываем количества оксида серы, воды и X:

$$v(\text{SO}_2) = V(\text{SO}_2)/22,4 \text{ л/моль};$$

$$v(\text{SO}_2) = 4,48/22,4 = 0,2 \text{ моль};$$

$$v(\text{H}_2\text{O}) = m(\text{H}_2\text{O})/M(\text{H}_2\text{O}); v(\text{H}_2\text{O}) = 3,6/18 = 0,2 \text{ моль.}$$

$$v(X) = V(X)/22,4 \text{ л/моль}; v(X) = 4,48/22,4 = 0,2 \text{ моль.}$$

Рассчитываем отношение количества вещества X к количествам  $\text{SO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ :

$$v(X) : v(\text{SO}_2) : v(\text{H}_2\text{O}) = 0,2 : 0,2 : 0,2;$$

$$v(X) : v(\text{SO}_2) : v(\text{H}_2\text{O}) = 1 : 1 : 1.$$

Следовательно, при сгорании 1 моль X образуется 1 моль оксида серы и 1 моль воды. Тогда коэффициенты в химическом уравнении перед  $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  и X равны 1. Таким образом, в состав 1 моль X входят 1 моль атомов серы и 2 моль атомов водорода. Тогда предполагаемая формула X будет иметь вид  $\text{H}_2\text{S}$ . В состав X может входить и кислород. Установим наличие или отсутствие последнего в составе X. Для этого вычисляем молярную массу X:

$$M(X) = D \cdot M(\text{CO}_2); M(X) = 0,773 \cdot 44 = 34 \text{ г/моль.}$$

Молярная масса  $\text{H}_2\text{S}$  также равна 34 г/моль.

Следовательно, в состав X кислород не входит и формула соединения имеет вид  $\text{H}_2\text{S}$ .

**10.17.** Массовая доля серы в соединении  $\text{H}_2\text{SX}_4$  равна 32,65 %. Установите X.

Ответ: O.

**10.18.** Какую массу  $\text{SO}_3$  нужно растворить в воде, чтобы получить раствор  $\text{H}_2\text{SO}_4$  с массовой долей кислоты 9,8 % массой 200 г?

Ответ: 16 г.

**10.19.** Составьте уравнения реакций гидролиза сульфида натрия, сульфита калия.

**10.20.** Какую массу (в тоннах) серной кислоты с массовой долей 75 % можно получить из 60 т пирита, содержащего 80 %  $\text{FeS}_2$ , если производственные потери составляют 10 %?

Ответ: 94 т.

**10.21.** Медь массой 3,2 г опустили в раствор серной кислоты массой 80 г с массовой долей  $\text{H}_2\text{SO}_4$  98 %. Выделившийся газ (выход продукта 90 %) растворили в 100 г воды. Определите массовую долю (в процентах) кислоты в полученном растворе.

Ответ: 3,59 %.

**10.22.** Выделившийся газ при растворении серебра в избытке концентрированной серной кислоты растворили в воде, получив раствор сернистой кислоты массой 50 г с массовой долей  $\text{H}_2\text{SO}_3$  4 %. Определите массу растворенного серебра.

Ответ: 5,27 г.

**10.23.** К смеси сульфатов бария, меди (II) и натрия массой 30 г добавили воду. Часть смеси не растворилась. Масса нерастворенного вещества составила 10 г. Надосадочную жидкость отделили и через нее пропустили избыток сероводорода. В результате этого выпал осадок массой 9,6 г. Определите массу сульфата натрия в исходной смеси солей.

Ответ: 4 г.

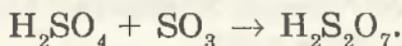
**10.24.** Газ, полученный в результате действия избытка воды на  $\text{Al}_2\text{S}_3$ , сожгли на воздухе. Продукты реакции пропустили через воду, получив раствор кислоты (массовая доля — 2 %) массой 100 г. Определите массу  $\text{Al}_2\text{S}_3$ , вступившего в реакцию.

Ответ: 1,22 г.

**10.25.** Растворимость оксида серы (IV) в 100 г воды при 0 °С равна 22,8 г. После нагревания 200 г насыщенного при 0 °С раствора до 20 °С его масса составила 181,6 г. Определите растворимость  $\text{SO}_2$  (в граммах) при 20 °С в 100 г воды.

Ответ: 11,5 г.

**10.26.** Какую массу  $\text{SO}_3$  нужно добавить к 60 г раствора серной кислоты (массовая доля — 40 %), чтобы получить раствор  $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_7$  (массовая доля — 10 %) в  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ? При расчетах считать, что  $\text{SO}_3$  прореагирует с  $\text{H}_2\text{SO}_4$  полностью по уравнению



**Решение.** Рассчитываем массовую долю воды в исходном растворе:

$$\omega(\text{H}_2\text{O}) = 100 \% - 40 \% = 60 \%.$$

Определяем массу воды в растворе:

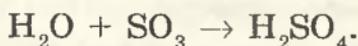
$$m(\text{H}_2\text{O}) = (\omega(\text{H}_2\text{O}) \cdot m(\text{р-ра}))/100 \%;$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = (60 \cdot 60)/100 = 36 \text{ г.}$$

Вычисляем количество воды:

$$v(\text{H}_2\text{O}) = m(\text{H}_2\text{O})/M(\text{H}_2\text{O}); v(\text{H}_2\text{O}) = 36/18 = 2 \text{ моль.}$$

При растворении оксида серы в воде образуется серная кислота:



Рассчитываем количество оксида серы, необходимое для реакции с водой, для получения безводной серной кислоты. Согласно уравнению реакции

$$v_1(\text{SO}_3) = v(\text{H}_2\text{O}); v_1(\text{SO}_3) = 2 \text{ моль.}$$

Рассчитываем его массу:

$$m_1(\text{SO}_3) = v_1(\text{SO}_3) \cdot M(\text{SO}_3); m_1(\text{SO}_3) = 2 \cdot 80 = 160 \text{ г.}$$

Находим массу безводной серной кислоты, образующейся в результате растворения 160 г оксида серы в исходном растворе:

$$m(\text{H}_2\text{SO}_4) = m(\text{p-ра}) + m_1(\text{SO}_3);$$

$$m(\text{H}_2\text{SO}_4) = 60 + 160 = 220 \text{ г.}$$

Определяем массу оксида серы, необходимую для получения требуемого раствора  $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_7$  из безводной серной кислоты. Количество  $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_7$  в растворе обозначаем  $x$ . Согласно уравнению реакции указанной в условии задачи

$$v(\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_7) = v_2(\text{SO}_3).$$

Значит, количество  $\text{SO}_3$ , необходимое для получения раствора с массовой долей  $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_7$  10 %, также равно  $x$ . Выразим массу оксида серы, требуемого для получения конечного раствора из безводной кислоты, и массу  $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_7$ :

$$m_2(\text{SO}_3) = v_2(\text{SO}_3) \cdot M(\text{SO}_3); m_2(\text{SO}_3) = x \cdot 80;$$

$$m(\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_7) = v(\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_7) \cdot M(\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_7); m(\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_7) = x \cdot 178.$$

Масса конечного раствора, содержащего 10 %  $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_7$ , равна сумме масс безводной серной кислоты и оксида серы, растворенного в ней:

$$m(10 \%, \text{p-p}) = m(\text{H}_2\text{SO}_4) + m_2(\text{SO}_3);$$

$$m(10 \%, \text{p-p}) = 220 + (80 \cdot x).$$

В уравнение

$$\omega(\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_7) = (m(\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_7)/m(10 \%, \text{p-ра})) \cdot 100 \%$$

подставляем известные значения и получаем уравнение

$$10 = ((x \cdot 178)/(220 + 80x)) \cdot 100,$$

откуда  $x = 0,13$  моль.

Находим массу оксида:

$$m_2(\text{SO}_3) = x \cdot 80; m_2(\text{SO}_3) = 0,13 \cdot 80 = 10,35 \text{ г.}$$

Определяем общую массу оксида серы:

$$m(\text{SO}_3) = m_1(\text{SO}_3) + m_2(\text{SO}_3);$$

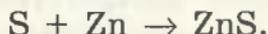
$$m(\text{SO}_3) = 160 + 10,35 = 170,35 \text{ г.}$$

**10.27.** Какую массу  $\text{H}_2\text{O}$  нужно добавить к 178 г раствора  $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_7$  в  $\text{H}_2\text{SO}_4$  с массовой долей  $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_7$  10 %, чтобы получить раствор серной кислоты с массовой долей  $\text{H}_2\text{SO}_4$  30 %?

Ответ: 421 г.

**10.28.** Цинк массой 13 г сплавили с серой массой 3,2 г. Затем к смеси добавили избыток соляной кислоты. Определите плотность выделившегося газа по кислороду.

**Решение.** Сера и цинк реагируют по уравнению



Устанавливаем вещество, взятое в избытке. Для этого рассчитываем количества серы и цинка:

$$v(\text{S}) = m(\text{S})/M(\text{S}); v(\text{S}) = 3,2/32 = 0,1 \text{ моль};$$

$$v_1(\text{Zn}) = m(\text{Zn})/M(\text{Zn}); v_1(\text{Zn}) = 13/65 = 0,2 \text{ моль.}$$

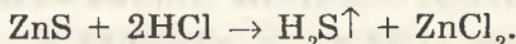
С 0,1 моль серы прореагирует 0,1 моль цинка. Следовательно, цинк находится в избытке. Расчеты проводим по сере. Определяем количество образовавшегося сульфида. Согласно уравнению реакции

$$v(\text{ZnS}) = v(\text{S}); v(\text{ZnS}) = 0,1 \text{ моль.}$$

Нами определено, что в реакцию вступило 0,1 моль цинка, т.е.  $v_2(\text{Zn}) = 0,1$  моль. Количество цинка, не вступившего в реакцию, равно разнице количества цинка, взятого для реакции и прореагировавшего:

$$v(\text{Zn}) = v_1(\text{Zn}) - v_2(\text{Zn}); v(\text{Zn}) = 0,2 - 0,1 = 0,1 \text{ моль.}$$

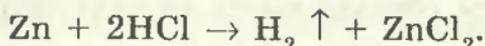
Соляная кислота будет реагировать с образовавшимся в результате первой реакции сульфидом цинка с выделением газа сероводорода:



Определяем количество сероводорода. Согласно уравнению реакции

$$v(\text{H}_2\text{S}) = v(\text{ZnS}); v(\text{H}_2\text{S}) = 0,1 \text{ моль.}$$

Соляная кислота будет также взаимодействовать с непрореагировавшим цинком с образованием газообразного водорода:



Определяем количество водорода. Из уравнения реакции следует, что

$$\nu(\text{H}_2) = \nu(\text{Zn}); \nu(\text{H}_2) = 0,1 \text{ моль.}$$

Рассчитываем массы сероводорода и водорода:

$$m(\text{H}_2\text{S}) = \nu(\text{H}_2\text{S}) \cdot M(\text{H}_2\text{S}); m(\text{H}_2\text{S}) = 0,1 \cdot 34 = 3,4 \text{ г;}$$

$$m(\text{H}_2) = \nu(\text{H}_2) \cdot M(\text{H}_2); m(\text{H}_2) = 0,1 \cdot 2 = 0,2 \text{ г.}$$

Таким образом, газ, образовавшийся при взаимодействии соляной кислоты с сульфидом цинка и цинком, состоит из водорода и сероводорода. Вычисляем его молярную массу:

$$M(\Gamma) = (m(\text{H}_2\text{S}) + m(\text{H}_2)) / (\nu(\text{H}_2\text{S}) + \nu(\text{H}_2));$$

$$M(\Gamma) = (3,4 + 0,2) / (0,1 + 0,1) = 18 \text{ г/моль.}$$

Находим относительную плотность газа по кислороду:

$$D = M(\Gamma) / M(\text{O}_2); D = 18 / 32 = 0,5625.$$

## Глава 11. ПОДГРУППА АЗОТА

**11.1.** При сжигании соединения X массой 0,24 г образовалось 0,27 г воды и 0,168 л азота (н.у.). Плотность паров этого вещества по воздуху равна 1,103. Какова молекулярная формула вещества?

**Решение.** Рассчитываем молярную массу соединения X:

$$M(X) = M(\text{воздуха}) \cdot D;$$

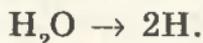
$$M(X) = 29 \cdot 1,103 = 32 \text{ г/моль.}$$

Вычисляем количество воды:

$$\nu(\text{H}_2\text{O}) = m(\text{H}_2\text{O}) / M(\text{H}_2\text{O});$$

$$\nu(\text{H}_2\text{O}) = 0,27 / 18 = 0,015 \text{ моль.}$$

Определяем количество водорода в составе воды. Для этого составим схему:



Согласно схеме

$$v(\text{H}) = 2v(\text{H}_2\text{O}); v(\text{H}) = 2 \cdot 0,015 = 0,03 \text{ моль.}$$

Находим массу водорода:

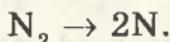
$$m(\text{H}) = v(\text{H}) \cdot M(\text{H}); m(\text{H}) = 1 \cdot 0,03 = 0,03 \text{ г.}$$

Рассчитываем количество молекулярного азота:

$$v(\text{N}_2) = V(\text{N}_2)/22,4 \text{ л/моль;}$$

$$v(\text{N}_2) = 0,168/22,4 = 0,0075 \text{ моль.}$$

Определяем количество атомарного азота. С этой целью составляем схему:



Согласно схеме

$$v(\text{N}) = 2v(\text{N}_2); v(\text{N}) = 2 \cdot 0,0075 = 0,015 \text{ моль.}$$

Рассчитываем массу азота:

$$m(\text{N}) = v(\text{N}) \cdot M(\text{N}); m(\text{N}) = 0,015 \cdot 14 = 0,21 \text{ г.}$$

Устанавливаем наличие кислорода в соединении X. Для этого определяем суммарную массу водорода и азота:

$$m(\text{H}) + m(\text{N}) = 0,03 + 0,21 = 0,24 \text{ г.}$$

Известно, что масса соединения X также равна 0,24 г. Значит, кислород в состав X не входит. Определяем молекулярную формулу соединения X. Для этого находим отношение количества водорода к количеству азота:

$$v(\text{H}) : v(\text{N}) = 0,030 : 0,015; v(\text{H}) : v(\text{N}) = 2 : 1.$$

Тогда простейшая формула будет иметь вид  $\text{NH}_2$ .

Далее установим истинную формулу X. Молярная масса  $\text{NH}_2$  равна 16 г/моль. Нами определено, что молярная масса X равна 32 г/моль. Тогда находим отношение молярной массы соединения X к молярной массе  $\text{NH}_2$ :

$$M(\text{X}) : M(\text{NH}_2) = 32 : 16 = 2.$$

Следовательно, истинная формула X имеет вид  $\text{N}_2\text{H}_4$ .

**11.2.** При сжигании соединения X массой 3,4 г образовалось 5,4 г воды и 2,24 л азота (н.у.). Плотность паров этого вещества по водороду равна 8,5. Какова молекулярная формула вещества?

Ответ:  $\text{NH}_3$ .

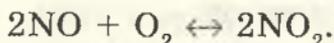
11.3. Какую массу (в килограммах) азота можно получить из  $60 \text{ м}^3$  воздуха? Объем измерен при давлении  $95 \text{ кПа}$  и температуре  $22 \text{ }^\circ\text{C}$ . Объемная доля  $\text{N}_2$  в составе воздуха равна  $78 \%$ .

Ответ:  $50,8 \text{ кг}$ .

11.4. Какую массу раствора (в тоннах) азотной кислоты с массовой долей  $\text{HNO}_3$   $68 \%$  можно получить из  $3 \text{ т}$  азота, если производственные потери составляют  $15 \%$ ?

Ответ:  $16,8 \text{ т}$ .

11.5. В системе установилось равновесие:



Равновесные концентрации  $\text{NO}$ ,  $\text{O}_2$  и  $\text{NO}_2$  соответственно равны  $0,15$ ;  $0,1$  и  $0,2$  моль/л. Как изменилось давление в сосуде к моменту установления равновесия (Рассчитайте отношение  $P_{\text{равн}}$  к  $P_{\text{исх}}$ )?

Решение. Определяем концентрации  $\text{NO}$  и  $\text{O}_2$ , вступивших в реакцию. Согласно уравнению реакции

$$\begin{aligned} c_1(\text{NO}) &= c(\text{NO}_2); \quad c_1(\text{NO}) = 0,2 \text{ моль/л}; \\ c_1(\text{O}_2) &= 0,5 c(\text{NO}_2); \quad c_1(\text{O}_2) = 0,1 \text{ моль/л}. \end{aligned}$$

Рассчитываем исходные концентрации  $\text{NO}$  и  $\text{O}_2$ :

$$\begin{aligned} c_{\text{исх}}(\text{NO}) &= c_{\text{равн}}(\text{NO}) + c_1(\text{NO}); \\ c_{\text{исх}}(\text{NO}) &= 0,15 + 0,2 = 0,35 \text{ моль/л}; \\ c_{\text{исх}}(\text{O}_2) &= c_{\text{равн}}(\text{O}_2) + c_1(\text{O}_2); \\ c_{\text{исх}}(\text{O}_2) &= 0,1 + 0,1 = 0,2 \text{ моль/л}. \end{aligned}$$

Вычисляем общую концентрацию газообразных веществ в исходном состоянии:

$$\begin{aligned} c_{\text{исх}} &= c_{\text{исх}}(\text{O}_2) + c_{\text{исх}}(\text{NO}); \\ c_{\text{исх}} &= 0,2 + 0,35 = 0,55 \text{ моль/л}. \end{aligned}$$

Находим общую концентрацию газообразных веществ в равновесном состоянии системы:

$$\begin{aligned} c_{\text{равн}} &= c_{\text{равн}}(\text{O}_2) + c_{\text{равн}}(\text{NO}) + c_{\text{равн}}(\text{NO}_2); \\ c_{\text{равн}} &= 0,1 + 0,15 + 0,2 = 0,45 \text{ моль/л}. \end{aligned}$$

Рассчитываем отношение  $P_{\text{равн}}$  к  $P_{\text{исх}}$ :

$$\begin{aligned} P_{\text{равн}}/P_{\text{исх}} &= c_{\text{равн}}/c_{\text{исх}}; \\ P_{\text{равн}}/P_{\text{исх}} &= 0,45/0,55 = 0,82. \end{aligned}$$

11.6. В замкнутый сосуд поместили 2 моль  $N_2$  и 4 моль  $H_2$ . Смесь нагрели в присутствии катализатора. Определите массовую долю (в процентах) аммиака в смеси к моменту, когда в реакцию вступило 75 % водорода.

Ответ: 53 %.

11.7. Объем газа, состоящего из азота и водорода, при давлении 120 кПа и  $0^\circ C$  равен 1,89 л. Определите плотность газовой смеси по кислороду. Масса водорода в смеси равна 0,1 г.

Ответ: 0,47.

11.8. Технический аммиак объемом 23,58 л (н.у.), содержащий 5 % примесей (по объему), сожгли в присутствии платины. Образовавшийся NO (выход 90 %) окислили до оксида азота (IV).  $NO_2$  использовали для получения концентрированного раствора азотной кислоты. Затем в полученный раствор кислоты опустили 1,6 г меди. При этом выделился газ. Определите его объем.

Ответ: 1,12 л.

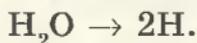
11.9. При термическом разложении соли образовалось 14,4 г воды и 11,2 г азота. Молярная масса соли равна 64 г/моль. Определите формулу соли.

**Решение.** Рассчитываем количество воды:

$$\nu(H_2O) = m(H_2O)/M(H_2O);$$

$$\nu(H_2O) = 14,4/18 = 0,8 \text{ моль.}$$

Вначале определяем количество водорода в составе воды. Для этого составляем схему:

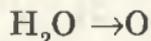


Согласно схеме

$$\nu(H) = 2\nu(H_2O);$$

$$\nu(H) = 2 \cdot 0,8 = 1,6 \text{ моль.}$$

Затем находим количество кислорода в составе воды. Из схемы



следует, что

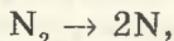
$$\nu(O) = \nu(H_2O); \nu(O) = 0,8 \text{ моль.}$$

Вычисляем количество молекулярного азота:

$$\nu(N_2) = m(N_2)/M(N_2);$$

$$\nu(N_2) = 11,2/28 = 0,4 \text{ моль.}$$

Рассчитываем количество атомарного азота.  
Составляем схему



в соответствии с которой

$$v(\text{N}) = 2v(\text{N}_2); v(\text{N}) = 2 \cdot 0,4 = 0,8 \text{ моль.}$$

Устанавливаем формулу соли. С этой целью находим соотношение количеств водорода, азота и кислорода:

$$v(\text{H}) : v(\text{N}) : v(\text{O}) = 1,6 : 0,8 : 0,8;$$

$$v(\text{H}) : v(\text{N}) : v(\text{O}) = 2 : 1 : 1.$$

Тогда простейшая формула будет иметь вид  $\text{H}_2\text{NO}$ . Молярная масса  $\text{H}_2\text{NO}$  равна 32 г/моль. Известно, что молярная масса соли составляет 64 г/моль. Находим отношение молярной массы соли к молярной массе  $\text{H}_2\text{NO}$ :

$$M(\text{соли}) : M(\text{H}_2\text{NO}) = 64 : 32 = 2.$$

Следовательно, формула соли имеет вид  $\text{H}_4\text{N}_2\text{O}_2$  или  $\text{NH}_4\text{NO}_2$ .

**11.10.** При термическом разложении соли образовалось 3,4 г аммиака, 1,8 г воды и 4,4 г  $\text{CO}_2$ . Молярная масса соли равна 96 г/моль. Определите формулу соли.

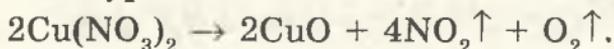
Ответ:  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ .

**11.11.** При частичном термическом разложении нитрата калия массой 25 г выделилось 3,2 г кислорода. Определите массовую долю нитрита калия в твердом остатке.

Ответ: 78 %.

**11.12.** После прокаливания 25 г  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$  масса твердого остатка составила 22,84 г. Определите объем (н.у.) кислорода (в литрах), выделившегося при разложении нитрата меди.

**Решение.** Нитрат меди при прокаливании разлагается по уравнению



Если обозначить количество кислорода, выделившегося при разложении нитрата  $x$ , то количество оксида азота, выделившегося при

разложении, равно  $4x$ . Выражаем массы кислорода и оксида азота:

$$m(\text{O}_2) = \nu(\text{O}_2) \cdot M(\text{O}_2); m(\text{O}_2) = 32 \cdot x;$$

$$m(\text{NO}_2) = \nu(\text{NO}_2) \cdot M(\text{NO}_2);$$

$$m(\text{NO}_2) = 4x \cdot 46 = 184 \cdot x.$$

Согласно уравнению реакции уменьшение массы связано с выделением газов оксида азота и кислорода. Суммарная масса оксида азота и кислорода равна разнице масс нитрата меди и твердого остатка:

$$m(\text{NO}_2) + m(\text{O}_2) = 25 - 22,84 = 2,16 \text{ г.}$$

Подставив значения масс кислорода и оксида азота в последнее уравнение, получаем

$$32 \cdot x + 184 \cdot x = 2,16,$$

откуда  $x = \nu(\text{O}_2) = 0,01$  моль. Определяем объем кислорода:

$$V(\text{O}_2) = \nu(\text{O}_2) \cdot 22,4 \text{ л/моль};$$

$$V(\text{O}_2) = 0,01 \cdot 22,4 = 0,224 \text{ л.}$$

**11.13.** Какой объем  $\text{CO}_2$  выделится при действии избытка азотной кислоты на углерод массой 24 г?

Ответ: 44,8 л.

**11.14.** Какая масса  $\text{H}_2\text{SO}_4$  образуется при действии избытка азотной кислоты на серу массой 24 г?

Ответ: 73,5 г.

**11.15.** Определите относительную плотность по водороду газа, образующегося при термическом разложении  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ . Температура газа 120 °С.

**Решение.** Нитрат аммония разлагается по уравнению



Определяем молярную массу газа, учитывая, что при разложении 1 моль  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  образуется 1 моль  $\text{N}_2\text{O}$  ( $m = 44$  г) и 2 моль  $\text{H}_2\text{O}$  ( $m = 36$  г) и при 120 °С вода находится в газообразном состоянии:

$$M(\Gamma) = (m(\text{N}_2\text{O}) + m(\text{H}_2\text{O})) / (\nu(\text{N}_2\text{O}) + \nu(\text{H}_2\text{O}));$$

$$M(\Gamma) = (44 + 36) / (1 + 2) = 26,7 \text{ г/моль.}$$

Находим относительную плотность газа по водороду:

$$D = M(\Gamma) / M(\text{H}_2); D = 26,7 / 2 = 13,35.$$

11.16. Определите объемную долю (в процентах) кислорода в составе газа, образующегося при термическом разложении  $\text{AgNO}_3$ .

Ответ: 33,33 %.

11.17. Газ, выделившийся при взаимодействии 6,4 г меди с избытком концентрированной азотной кислоты, пропустили через избыток раствора гидроксида калия. Определите массу образовавшегося нитрата калия.

Ответ: 10,1 г.

11.18. Составьте электронную формулу иона  $\text{N}^{3-}$ .

11.19. При термическом разложении нитрата одновалентного металла выделился газ объемом 4,48 л (н.у.). Массовая доля кислорода в составе нитрата равна 47,52 %. Определите массу разложившегося нитрата.

Решение. Для расчетов выбираем образец нитрата массой 100 г.

Рассчитываем массу кислорода в образце:

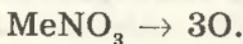
$$m(\text{O}) = (\omega(\text{O}) \cdot m(\text{нитрата}))/100 \%;$$

$$m(\text{O}) = (47,52 \cdot 100)/100 = 47,52 \text{ г.}$$

Вычисляем количество кислорода:

$$\nu(\text{O}) = m(\text{O})/M(\text{O}); \nu(\text{O}) = 47,52/16 = 2,97 \text{ моль.}$$

Поскольку валентность металла равна единице, формула нитрата будет иметь вид  $\text{MeNO}_3$ . Определяем количество нитрата в образце. С этой целью составляем схему:



Согласно схеме

$$\nu(\text{MeNO}_3) = \frac{1}{3} \nu(\text{O});$$

$$\nu(\text{MeNO}_3) = 2,97 : 3 = 0,99 \text{ моль.}$$

Находим молярную массу нитрата:

$$M(\text{MeNO}_3) = m(\text{MeNO}_3)/\nu(\text{MeNO}_3);$$

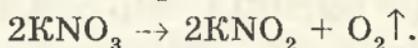
$$M(\text{MeNO}_3) = 100/0,99 = 101 \text{ г/моль.}$$

Определяем формулу нитрата. Для этого вначале рассчитываем молярную массу металла:

$$M(\text{Me}) = M(\text{MeNO}_3) - M(\text{N}) - 3M(\text{O});$$

$$M(\text{Me}) = 101 - 14 - 48 = 39 \text{ г/моль.}$$

Молярную массу, равную 39 г/моль, имеет калий. Следовательно, формула нитрата имеет вид  $\text{KNO}_3$ . Записываем уравнение разложения нитрата калия:



Вычисляем количество кислорода:

$$v(\text{O}_2) = V(\text{O}_2)/22,4 \text{ л/моль};$$

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

Находим количество нитрата калия. Согласно уравнению реакции

$$v(\text{KNO}_3) = 2v(\text{O}_2);$$

$$v(\text{KNO}_3) = 2 \cdot 0,2 = 0,4 \text{ моль}.$$

Определяем массу нитрата:

$$m(\text{KNO}_3) = v(\text{KNO}_3) \cdot M(\text{KNO}_3),$$

$$m(\text{KNO}_3) = 0,4 \cdot 101 = 40,4 \text{ г}.$$

**11.20.** Массовая доля  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  в составе фосфорита равна 95 %. Определите, какую массу раствора ортофосфорной кислоты (в килограммах) с массовой долей  $\text{H}_3\text{PO}_4$  80 % можно получить из 600 кг фосфорита, если производственные потери составляют 15 %.

Ответ: 383 кг.

**11.21.** Определите массовую долю фосфора (в процентах) в составе оксида фосфора (V).

Ответ: 43,7 %.

**11.22.** Массовая доля фосфора в составе апатита равна 16 %. Определите массовую долю  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  в составе апатита, если весь фосфор входит в состав фосфата кальция.

Ответ: 80 %.

**11.23.** Газ, полученный при разложении 18,2 г фосфида кальция водой, сожгли. Определите массу образовавшегося в результате реакции оксида фосфора (V).

Ответ: 14,2 г.

**11.24.** Определите массовую долю ортофосфорной кислоты в растворе, полученном при нагревании раствора метафосфорной кислоты с массовой долей кислоты 8 %. Считать, что  $\text{HPO}_3$  прореагировала с  $\text{H}_2\text{O}$  с образованием  $\text{H}_3\text{PO}_4$  полностью.

**Решение.** Выбираем образец раствора массой 100 г. Рассчитываем массу  $\text{HPO}_3$  в растворе:

$$m(\text{HPO}_3) = (\omega(\text{HPO}_3) \cdot m(\text{р-ра}))/100 \text{ \%};$$

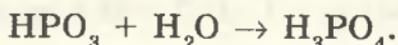
$$m(\text{HPO}_3) = (8 \cdot 100)/100 = 8 \text{ г.}$$

Вычисляем количество метафосфорной кислоты:

$$\nu(\text{HPO}_3) = m(\text{HPO}_3)/M(\text{HPO}_3);$$

$$\nu(\text{HPO}_3) = 8/80 = 0,1 \text{ моль.}$$

При кипячении раствора метафосфорной кислоты протекает следующая реакция:



Определяем количество фосфорной кислоты. Согласно уравнению реакции

$$\nu(\text{H}_3\text{PO}_4) = \nu(\text{HPO}_3); \nu(\text{H}_3\text{PO}_4) = 0,1 \text{ моль.}$$

Находим массу  $\text{H}_3\text{PO}_4$ :

$$m(\text{H}_3\text{PO}_4) = \nu(\text{H}_3\text{PO}_4) \cdot M(\text{H}_3\text{PO}_4);$$

$$m(\text{H}_3\text{PO}_4) = 0,1 \cdot 98 = 9,8 \text{ г.}$$

Рассчитываем массовую долю  $\text{H}_3\text{PO}_4$  в растворе:

$$\omega(\text{H}_3\text{PO}_4) = (m(\text{H}_3\text{PO}_4)/m(\text{р-ра})) \cdot 100 \text{ \%};$$

$$\omega(\text{H}_3\text{PO}_4) = (9,8/100) \cdot 100 = 9,8 \text{ \%}.$$

**11.25.** Рассчитайте количество вещества ионов водорода в растворе, содержащем 49 г фосфорной кислоты. Степень диссоциации  $\text{H}_3\text{PO}_4$  по первой ступени равна 5 %. Диссоциацией по второй и третьей ступеням пренебречь.

**Ответ:** 0,025 моль.

**11.26.** В растворе  $\text{H}_3\text{PO}_4$  (массовая доля 10 %) массой 80 г растворили при нагревании  $\text{P}_2\text{O}_5$ . В результате этого массовая доля фосфорной кислоты увеличилась на 5 %. Определите массу растворенного оксида фосфора.

**Решение.** Рассчитываем массу фосфорной кислоты в исходном растворе:

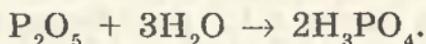
$$m_1(\text{H}_3\text{PO}_4) = (\omega_1(\text{H}_3\text{PO}_4) \cdot m_1(\text{р-ра}))/100 \text{ \%};$$

$$m_1(\text{H}_3\text{PO}_4) = (10 \cdot 80)/100 = 8 \text{ г.}$$

Массовая доля фосфорной кислоты в конечном растворе составит:

$$\omega_2(\text{H}_3\text{PO}_4) = 10 + 5 = 15 \text{ \%}.$$

Оксид фосфора при нагревании, растворяясь в воде, образует фосфорную кислоту:



Количество растворенного оксида фосфора обозначаем  $x$ . Определяем количество образовавшейся фосфорной кислоты. Согласно уравнению реакции

$$\nu_2(H_3PO_4) = 2\nu(P_2O_5); \nu_2(H_3PO_4) = 2x.$$

Выражаем массы оксида фосфора и фосфорной кислоты:

$$m(P_2O_5) = \nu(P_2O_5) \cdot M(P_2O_5); m(P_2O_5) = x \cdot 142;$$

$$m_2(H_3PO_4) = \nu_2(H_3PO_4) \cdot M(H_3PO_4); m_2(H_3PO_4) = 2x \cdot 98.$$

Масса конечного раствора равна сумме масс исходного раствора и растворенного оксида фосфора:

$$m_2(p\text{-ра}) = m_1(p\text{-ра}) + m(P_2O_5); m_2(p\text{-ра}) = 80 + (x \cdot 142).$$

Выражаем массу  $H_3PO_4$  в конечном растворе:

$$m(H_3PO_4) = m_1(H_3PO_4) + m_2(H_3PO_4);$$

$$m(H_3PO_4) = 8 + 2x \cdot 98.$$

В уравнение

$$\omega_2(H_3PO_4) = \frac{m(H_3PO_4)}{m_2(p\text{-ра})} \cdot 100 \%$$

подставляем известные значения и получаем уравнение

$$15 = \frac{8 + 2x \cdot 98}{80 + (x \cdot 142)} \cdot 100,$$

откуда  $x = \nu(P_2O_5) = 0,0229$  моль.

Рассчитываем массу оксида фосфора:

$$m(P_2O_5) = \nu(P_2O_5) \cdot M(P_2O_5);$$

$$m(P_2O_5) = 0,0229 \cdot 142 = 3,25 \text{ г.}$$

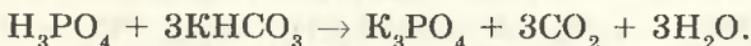
**11.27.** В растворе, содержащем 9,8 г  $H_3PO_4$ , растворили 6 г  $NaOH$ . Определите количество образовавшегося гидрофосфата натрия.

Ответ: 0,05 моль.

**11.28.** Смесь фосфорной и дифосфорной кислот разделили на две равные части. Первую часть сразу же нейтрализовали гидрокарбонатом калия. Вторую

часть нейтрализовали после кипячения. На нейтрализацию второй части было затрачено гидрокарбоната калия в 1,2 раза больше, чем в первом случае. В результате кипячения дифосфорная кислота была полностью гидролизована до  $\text{H}_3\text{PO}_4$ . Рассчитайте отношение количества фосфорной кислоты к количеству дифосфорной кислоты в исходном растворе.

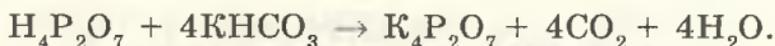
**Решение.** Выражаем количество гидрокарбоната калия, затраченного на нейтрализацию первой части раствора. Для этого вначале записываем уравнение реакции нейтрализации фосфорной кислоты:



Количество фосфорной кислоты  $\nu_1(\text{H}_3\text{PO}_4)$  в составе 1/2 части раствора обозначаем  $x$ . Определяем количество гидрокарбоната натрия, пошедшего на нейтрализацию фосфорной кислоты. Согласно уравнению реакции

$$\nu_1(\text{KНСО}_3) = 3\nu_1(\text{H}_3\text{PO}_4); \nu_1(\text{KНСО}_3) = 3x.$$

Затем рассматриваем реакцию нейтрализации дифосфорной кислоты:



Количество дифосфорной кислоты в составе 1/2 части раствора обозначаем  $y$ . Определяем количество гидрокарбоната, затраченного на ее нейтрализацию. Из уравнения реакции нейтрализации следует, что

$$\nu_2(\text{KНСО}_3) = 4\nu(\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7); \nu_2(\text{KНСО}_3) = 4y.$$

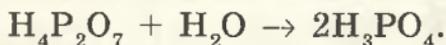
Принимаем

$$\nu_1(\text{KНСО}_3) + \nu_2(\text{KНСО}_3) = a.$$

Переписываем уравнение, подставив значения количеств гидрокарбоната:

$$3x + 4y = a. \quad (1)$$

В результате кипячения дифосфорная кислота подвергается гидролизу:



Выражаем количество образовавшейся фосфорной кислоты во второй части в результате гидролиза дифосфорной кислоты. Количество дифосфорной

кислоты в составе  $1/2$  части раствора равно  $y$ . Согласно уравнению реакции гидролиза дифосфорной кислоты

$$v_2(\text{H}_3\text{PO}_4) = 2v(\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7) = 2y.$$

Общее количество фосфорной кислоты во второй части раствора составит:

$$v_3(\text{H}_3\text{PO}_4) = v_1(\text{H}_3\text{PO}_4) + v_2(\text{H}_3\text{PO}_4);$$

$$v_3(\text{H}_3\text{PO}_4) = x + 2y.$$

После кипячения во второй части раствора будет присутствовать только фосфорная кислота. Выражаем количество гидрокарбоната калия, затраченного на нейтрализацию этой части раствора. Согласно уравнению реакции нейтрализации фосфорной кислоты

$$v_3(\text{KHCO}_3) = 3v_3(\text{H}_3\text{PO}_4);$$

$$v_3(\text{KHCO}_3) = 3(x + 2y).$$

По условию количество гидрокарбоната, израсходованного на нейтрализацию второй части раствора, в 1,2 раза больше количества гидрокарбоната калия, затраченного на нейтрализацию первой части:

$$v_3(\text{KHCO}_3) = 1,2(v_1(\text{KHCO}_3) + v_2(\text{KHCO}_3));$$

$$v_3(\text{KHCO}_3) = 1,2a.$$

В последнее уравнение подставляем значение количества гидрокарбоната:

$$3(x + 2y) = 1,2a. \quad (2)$$

Составляем систему из уравнений (1) и (2):

$$\begin{cases} 3x + 4y = a, \\ 3(x + 2y) = 1,2a. \end{cases}$$

Решаем систему:  $x = 0,2a$ ;  $y = 0,1a$ .

Количество фосфорной кислоты в составе  $1/2$  части исходного раствора равно  $x$ , количество дифосфорной кислоты исходного раствора —  $y$ . Рассчитываем отношение количества фосфорной кислоты к количеству дифосфорной кислоты в исходном растворе:

$$v_1(\text{H}_3\text{PO}_4)/v(\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7) = x/y;$$

$$v_1(\text{H}_3\text{PO}_4)/v(\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7) = 0,2a/0,1a = 2.$$

**11.29.** Смесь фосфорной и метафосфорной кислот разделили на две равные части. Первую часть сразу же нейтрализовали гидрокарбонатом калия. Вторую

часть нейтрализовали после кипячения. На нейтрализацию второй части было затрачено гидрокарбоната калия в 1,5 раза больше, чем в первом случае. В результате кипячения метафосфорная кислота была полностью превращена в  $H_3PO_4$ . Рассчитайте отношение количества фосфорной кислоты к количеству метафосфорной кислоты в исходном растворе.

Ответ: 1.

## Глава 12. ПОДГРУППА УГЛЕРОДА

**12.1.** Образец неизвестного соединения X содержит 4,6 г натрия, 0,2 г водорода, 2,4 г углерода и 9,6 г кислорода. Установите формулу соединения X.

Ответ:  $NaHCO_3$ .

**12.2.** Имеются два соединения состава АВ и  $AB_2$ , относительная плотность первого по водороду равна 14, а второго — 22. Определите химическую формулу соединения  $AB_2$ .

**Решение.** Вычисляем молярные массы АВ и  $AB_2$ :

$$M(AB) = M(H_2) \cdot D; M(AB) = 2 \cdot 14 = 28 \text{ г/моль};$$

$$M(AB_2) = M(H_2) \cdot D; M(AB_2) = 2 \cdot 22 = 44 \text{ г/моль}.$$

Выражаем  $M(AB)$  и  $M(AB_2)$  и составляем систему уравнений:

$$\begin{cases} 28 = M(A) + M(B), \\ 44 = M(A) + 2M(B). \end{cases}$$

Решаем систему уравнений:

$$M(A) = 12 \text{ г/моль}; M(B) = 16 \text{ г/моль}.$$

Следовательно, А — углерод, а В — кислород. Формула соединения  $AB_2$  будет иметь вид  $CO_2$ .

**12.3.** Через раствор  $Ca(OH)_2$  пропустили смесь оксида углерода (II) и оксида углерода (IV). В результате этого выпал осадок массой 10 г, а объем газа стал равным 4,48 л (н.у.). Определите объемную долю (в процентах) С О в исходной смеси.

Ответ: 67 %.

**12.4.** 4,4 г  $CO_2$  пропустили над раскаленным углеродом. Затем полученный газ пропустили над

раскаленным оксидом меди (II) массой 8 г. Определите массу образовавшейся меди.

Ответ: 6,4 г.

**12.5.** Газовую смесь, состоящую из оксида углерода (II) и кислорода (плотность по водороду равна 15), сожгли. Определите молярную массу газа после реакции.

**Решение.** Выбираем для расчетов образец смеси количеством вещества 1 моль. Рассчитываем молярную массу исходной газовой смеси:

$$M(\Gamma) = D \cdot M(\text{H}_2); M(\Gamma) = 15 \cdot 2 = 30 \text{ г/моль.}$$

Тогда масса 1 моль исходной газовой смеси равна 30 г. Количество исходной газовой смеси равно сумме количеств кислорода и оксида углерода и составляет 1 моль:

$$v_1(\text{O}_2) + v_1(\text{CO}) = 1 \text{ моль.}$$

Тогда

$$v_1(\text{CO}) = 1 - v_1(\text{O}_2).$$

Выражаем массы кислорода и оксида углерода в исходной смеси:

$$m_1(\text{O}_2) = v_1(\text{O}_2) \cdot M(\text{O}_2); m_1(\text{O}_2) = v_1(\text{O}_2) \cdot 32;$$

$$m_1(\text{CO}) = v_1(\text{CO}) \cdot M(\text{CO}); m_1(\text{CO}) = (1 - v_1(\text{O}_2)) \cdot 28.$$

Масса смеси равна 30 г:

$$m_1(\text{O}_2) + m_1(\text{CO}) = 30 \text{ г.}$$

Переписываем уравнение, подставив значения масс кислорода и оксида углерода:

$$v_1(\text{O}_2) \cdot 32 + (1 - v_1(\text{O}_2)) \cdot 28 = 30,$$

отсюда

$$v_1(\text{O}_2) = 0,5 \text{ моль.}$$

Тогда

$$v_1(\text{CO}) = 1 - 0,5 = 0,5 \text{ моль.}$$

Записываем уравнение реакции:



Установим вещество, взятое в избытке. С 0,5 моль оксида углерода (II) прореагирует 0,25 моль кислорода. Следовательно, кислород взят в избытке, оксид углерода (II) прореагирует полностью.

Определяем количество образовавшегося оксида углерода (IV). Из уравнения следует, что

$$v(\text{CO}_2) = v_1(\text{CO}); v(\text{CO}_2) = 0,5 \text{ моль.}$$

В соответствии с уравнением в реакцию вступило 0,25 моль кислорода. Следовательно, количество кислорода после реакции равно разности исходного количества кислорода и прореагировавшего:

$$v_2(\text{O}_2) = 0,5 - 0,25 = 0,25 \text{ моль.}$$

Согласно закону сохранения массы вещества масса газа после реакции равна массе веществ, вступивших в реакцию. Таким образом, масса газа после реакции будет составлять 30 г.

Количество газа после реакции равно сумме количеств образовавшегося оксида углерода (IV) и непрореагировавшего кислорода:

$$v(\text{r}) = v(\text{CO}_2) + v_2(\text{O}_2);$$

$$v(\text{r}) = 0,5 + 0,25 = 0,75 \text{ моль.}$$

Определяем молярную массу газа после реакции:

$$M_1(\text{r}) = m(\text{r})/v(\text{r}); M_1(\text{r}) = 30/0,75 = 40 \text{ г/моль.}$$

**12.6.** Относительная плотность газовой смеси, состоящей из оксида углерода (II) и кислорода, по водороду равна 15,5. Через некоторое время прореагировало 10 % кислорода. Определите массовую долю  $\text{CO}_2$  в конечной смеси.

Ответ: 21,3 %.

**12.7.** Плотность газовой смеси, состоящей из оксида углерода (II) и кислорода, по водороду равна 15. Через некоторое время после начала реакции между компонентами плотность газовой смеси по водороду стала равной 18,75. Определите объемную долю  $\text{CO}_2$  в конечной смеси.

**Решение.** Для расчетов выбираем образец смеси количеством вещества 1 моль. Рассчитываем молярную массу исходной газовой смеси:

$$M(\text{r}) = D \cdot M(\text{H}_2); M(\text{r}) = 15 \cdot 2 = 30 \text{ г/моль.}$$

Тогда масса образца составляет 30 г. Количество исходной смеси равно сумме количеств кислорода и оксида углерода (II):

$$v_1(\text{O}_2) + v_1(\text{CO}) = 1 \text{ моль.}$$

Выражаем количество оксида в исходной смеси:

$$v_1(\text{CO}) = 1 - v_1(\text{O}_2),$$

а массы кислорода и оксида в этой же смеси:

$$m_1(\text{O}_2) = v_1(\text{O}_2) \cdot M(\text{O}_2); m_1(\text{O}_2) = v_1(\text{O}_2) \cdot 32;$$

$$m_1(\text{CO}) = v_1(\text{CO}) \cdot M(\text{CO}); m_1(\text{CO}) = (1 - v_1(\text{O}_2)) \cdot 28.$$

Масса исходного образца равна сумме масс кислорода и оксида углерода и составляет 30 г:

$$m_1(\text{O}_2) + m_1(\text{CO}) = 30 \text{ г.} \quad (1)$$

Переписываем уравнение (1), подставляя значения масс кислорода и оксида:

$$v_1(\text{O}_2) \cdot 32 + (1 - v_1(\text{O}_2)) \cdot 28 = 30.$$

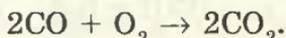
Решаем уравнение:

$$v_1(\text{O}_2) = 0,5 \text{ моль.}$$

Тогда

$$v_1(\text{CO}) = 1 - 0,5 \text{ моль} = 0,5 \text{ моль.}$$

Записываем уравнение реакции:



Количество  $\text{CO}_2$ , образовавшегося в результате реакции обозначаем  $x$ . Выражаем количество оксида углерода (II), вступившего в реакцию. Согласно уравнению реакции

$$v_2(\text{CO}) = v(\text{CO}_2); v_2(\text{CO}) = x.$$

Количество непрореагировавшего оксида углерода (II) равно разности количеств исходного и прореагировавшего оксида:

$$v_3(\text{CO}) = v_1(\text{CO}) - v_2(\text{CO}); v_3(\text{CO}) = 0,5 - x.$$

Выражаем количество кислорода, вступившего в реакцию. Согласно уравнению реакции

$$v_2(\text{O}_2) = 0,5 \cdot v(\text{CO}_2); v_2(\text{O}_2) = 0,5x.$$

Количество непрореагировавшего кислорода равно разности количеств исходного и прореагировавшего кислорода:

$$v_3(\text{O}_2) = v_1(\text{O}_2) - v_2(\text{O}_2); v_3(\text{O}_2) = 0,5 - 0,5x.$$

Количество газа после реакции равно сумме количеств образовавшегося оксида углерода (IV) и непрореагировавших оксида углерода (II) и кислорода:

$$v(\text{г}) = v(\text{CO}_2) + v_3(\text{CO}) + v_3(\text{O}_2);$$

$$v(\text{г}) = x + (0,5 - x) + (0,5 - 0,5x) = 1 - 0,5x.$$

Согласно закону сохранения массы вещества масса газа после реакции равна массе веществ, вступивших в реакцию. Следовательно, масса газа после реакции равна 30 г.

Рассчитываем молярную массу газа после реакции

$$M_1(\Gamma) = D \cdot M(\text{H}_2);$$

$$M_1(\Gamma) = 18,75 \cdot 2 = 37,5 \text{ г/моль.}$$

В уравнение

$$m(\Gamma) = \nu(\Gamma) \cdot M_1(\Gamma)$$

подставляем известные значения:

$$30 = (1 - 0,5x) \cdot 37,5.$$

Откуда

$$x = \nu(\text{CO}_2) = 0,4 \text{ моль.}$$

Рассчитываем количества непрореагировавших кислорода и оксида:

$$\nu_3(\text{O}_2) = 0,5 - 0,5x; \nu_3(\text{O}_2) = 0,5 - 0,5 \cdot 0,4 = 0,3 \text{ моль;}$$

$$\nu_3(\text{CO}) = 0,5 - x; \nu_3(\text{CO}) = 0,5 - 0,4 = 0,1 \text{ моль.}$$

Вычисляем объемы газов в конечной смеси:

$$V(\text{CO}_2) = \nu(\text{CO}_2) \cdot 22,4 \text{ л/моль;}$$

$$V(\text{CO}_2) = 0,4 \cdot 22,4 = 8,96 \text{ л;}$$

$$V(\text{CO}) = \nu_3(\text{CO}) \cdot 22,4 \text{ л/моль;}$$

$$V(\text{CO}) = 0,1 \cdot 22,4 = 2,24 \text{ л;}$$

$$V(\text{O}_2) = \nu_3(\text{O}_2) \cdot 22,4 \text{ л/моль;}$$

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

Определяем объемную долю оксида углерода (IV):

$$\varphi(\text{CO}_2) = \frac{V(\text{CO}_2)}{V(\text{CO}_2) + V(\text{CO}) + V(\text{O}_2)} \cdot 100 \%;$$

$$\varphi(\text{CO}_2) = \frac{8,96}{8,96 + 2,24 + 6,72} \cdot 100 = 50 \%.$$

**12.8.** При нагревании 112 г СаО и 80 г кокса, в составе которого массовая доля углерода составляет 95 %, получили карбид кальция и оксид углерода (II). Затем полученный СаС<sub>2</sub> обработали избытком воды. В результате реакции выделился ацетилен. Рассчитайте объем С<sub>2</sub>Н<sub>2</sub> при температуре 27 °С и давлении 110 кПа. Учтите, что выход ацетилена равен 80 %.

Ответ: 36,3 л.

**12.9.** Известняк массой 11 г обработали избытком соляной кислоты. В результате реакции выделился газ объемом 2,24 л. Определите массовую долю (в процентах)  $\text{CaCO}_3$  в составе известняка.

Ответ: 91 %.

**12.10.** Газ, образовавшийся в результате действия избытка соляной кислоты на раствор  $\text{K}_2\text{CO}_3$  (массовая доля — 40 %, плотность — 1,414 г/мл, объем — 36,6 мл), пропустили через раствор, содержащий 7,4 г гидроксида кальция. Определите массу образовавшегося осадка.

**Решение.** Рассчитаем массу раствора карбоната калия:

$$m(\text{р-ра}) = \rho(\text{р-ра}) \cdot V(\text{р-ра});$$

$$m(\text{р-ра}) = 1,414 \cdot 36,6 = 51,75 \text{ г.}$$

Находим массу карбоната калия в растворе:

$$m(\text{K}_2\text{CO}_3) = \omega(\text{K}_2\text{CO}_3) \cdot m(\text{р-ра})/100 \text{ %};$$

$$m(\text{K}_2\text{CO}_3) = (40 \cdot 51,75)/100 = 20,7 \text{ г.}$$

Вычисляем количество карбоната калия:

$$\nu(\text{K}_2\text{CO}_3) = m(\text{K}_2\text{CO}_3)/M(\text{K}_2\text{CO}_3);$$

$$\nu(\text{K}_2\text{CO}_3) = 20,7/138 = 0,15 \text{ моль.}$$

Записываем уравнение реакции взаимодействия карбоната калия и соляной кислоты:



Определяем количество оксида углерода, образовавшегося в результате реакции. Согласно уравнению реакции

$$\nu(\text{CO}_2) = \nu(\text{K}_2\text{CO}_3); \nu(\text{CO}_2) = 0,15 \text{ моль.}$$

Рассчитываем количество гидроксида кальция:

$$\nu(\text{Ca(OH)}_2) = m(\text{Ca(OH)}_2)/M(\text{Ca(OH)}_2);$$

$$\nu(\text{Ca(OH)}_2) = 7,4/74 = 0,1 \text{ моль.}$$

Записываем реакцию образования карбоната кальция в результате взаимодействия гидроксида кальция и оксида углерода:



Рассчитываем количество оксида углерода (IV), необходимое для получения карбоната кальция из 0,1 моль гидроксида кальция. Из уравнения реакции следует, что

$$\nu_1(\text{CO}_2) = \nu(\text{Ca(OH)}_2); \nu_1(\text{CO}_2) = 0,1 \text{ моль.}$$

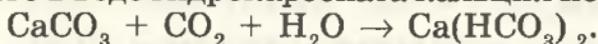
Определяем количество карбоната кальция, которое можно получить при 100%-ном выходе из 0,1 моль гидроксида кальция. В соответствии с уравнением реакции

$$v(\text{CaCO}_3) = v(\text{Ca(OH)}_2); v(\text{CaCO}_3) = 0,1 \text{ моль.}$$

Нами определено, что из 0,1 моль гидроксида кальция можно получить 0,1 моль карбоната кальция, для этого потребуется 0,1 моль оксида углерода (IV). Через раствор гидроксида кальция пропустили 0,15 моль оксида углерода. Следовательно, он взят в избытке. Рассчитываем его избыток:

$$\begin{aligned} v_2(\text{CO}_2) &= v(\text{CO}_2) - v_1(\text{CO}_2); \\ v_2(\text{CO}_2) &= 0,15 - 0,1 = 0,05 \text{ моль.} \end{aligned}$$

Поскольку оксид углерода взят в избытке, с ним будет реагировать карбонат кальция с образованием растворимого в воде гидрокарбоната кальция по уравнению



Находим количество карбоната кальция, растворившегося в результате данной реакции. Согласно уравнению реакции

$$v_1(\text{CaCO}_3) = v_2(\text{CO}_2); v_1(\text{CaCO}_3) = 0,05 \text{ моль.}$$

Находим количество карбоната кальция в составе нерастворившегося осадка:

$$\begin{aligned} v_2(\text{CaCO}_3) &= v(\text{CaCO}_3) - v_1(\text{CaCO}_3); \\ v_2(\text{CaCO}_3) &= 0,1 - 0,05 = 0,05 \text{ моль.} \end{aligned}$$

Определяем массу осадка:

$$\begin{aligned} m(\text{CaCO}_3) &= v_2(\text{CaCO}_3) \cdot M(\text{CaCO}_3); \\ m(\text{CaCO}_3) &= 0,05 \cdot 100 = 5 \text{ г.} \end{aligned}$$

**12.11.** Составьте молекулярные и ионные уравнения реакции гидролиза карбоната рубидия.

**12.12.** К 20 л смеси газов CO и CO<sub>2</sub> добавили 30 л кислорода и подожгли. В результате этого объем смеси уменьшился на 4 л. Все объемы приведены к нормальным условиям. Определите объемную долю (в процентах) CO<sub>2</sub> в исходной газовой смеси.

**Решение.** В системе будет протекать следующая реакция:



Согласно уравнению реакции 30 л кислорода могут прореагировать с 60 л оксида углерода (II). Объем смеси оксидов углерода равен 20 л. Следовательно, кислород взят в избытке, оксид углерода (II) прореагирует полностью.

Из уравнения реакции следует, что уменьшение объема газовой смеси после реакции равно объему кислорода, вступившего в реакцию, что составляет 4 л. Определяем объем оксида углерода (II) в исходной смеси. В соответствии с уравнением реакции

$$V(\text{CO}) = 2V(\text{O}_2); V(\text{CO}) = 8 \text{ л.}$$

Рассчитываем объем оксида углерода (IV) в исходной смеси:

$$V(\text{CO}_2) = 20 - 8 = 12 \text{ л.}$$

Находим объемную долю оксида углерода (IV):

$$\varphi(\text{CO}_2) = \frac{V(\text{CO}_2)}{V(\text{г})} \cdot 100 \%;$$

$$\varphi(\text{CO}_2) = \frac{12}{20} \cdot 100 = 60 \%.$$

**12.13.** Какую массу цинка можно получить при взаимодействии 162 г оксида цинка (II) с 20 г кокса, содержащего 95 % углерода, если выход продукта равен 85 %?

Ответ: 110,5 г.

**12.14.** Смесь карбоната натрия, карбоната калия и сульфата натрия массой 38,6 г обработали избытком раствора соляной кислоты. При этом выделился газ объемом 4,48 л (н.у.). К полученному раствору добавили избыток раствора  $\text{BaCl}_2$ , выпал осадок массой 23,3 г. Определите массу  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  в смеси.

Ответ: 10,6 г.

**12.15.** Составьте уравнения реакции гидролиза силиката натрия.

**12.16.** Какую массу кремния можно получить при взаимодействии 60 г кремнезема с 20 г кокса, содержащего 90 % углерода, если выход продукта равен 90 %?

Ответ: 18,9 г.

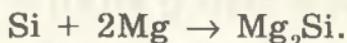
12.17. Смесь, содержащую 48 г магния и 14 г кремния, прокалили и затем обработали избытком соляной кислоты. Определите объем выделившегося газа.

**Решение.** Рассчитываем количества кремния и магния:

$$v(\text{Si}) = m(\text{Si})/M(\text{Si}); v(\text{Si}) = 14/28 = 0,5 \text{ моль.}$$

$$v_1(\text{Mg}) = m(\text{Mg})/M(\text{Mg}); v_1(\text{Mg}) = 48/24 = 2 \text{ моль.}$$

Записываем реакцию взаимодействия кремния и магния:



Рассчитываем количество образовавшегося  $\text{Mg}_2\text{Si}$ . Для этого определяем вещество, взятое в избытке. С 0,5 моль кремния прореагирует 1 моль магния. Следовательно, в избытке находится магний. Расчеты проводим по Si. Согласно уравнению реакции

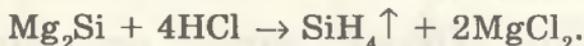
$$v(\text{Mg}_2\text{Si}) = v(\text{Si}); v(\text{Mg}_2\text{Si}) = 0,5 \text{ моль.}$$

Количество магния, не вступившего в реакцию, равно разнице количеств магния в исходной смеси и прореагировавшего:

$$v(\text{Mg}) = 2 - 1 = 1 \text{ моль.}$$

Соляная кислота будет реагировать как с силицидом магния, так и с непрореагировавшим магнием.

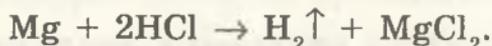
Силицид магния с соляной кислотой реагирует с выделением газа силана:



Определяем количество силана. В соответствии с уравнением реакции

$$v(\text{SiH}_4) = v(\text{Mg}_2\text{Si}); v(\text{SiH}_4) = 0,5 \text{ моль.}$$

В результате взаимодействия магния и соляной кислоты образуется водород:



Вычисляем количество водорода. Из уравнения реакции следует, что

$$v(\text{H}_2) = v(\text{Mg}); v(\text{H}_2) = 1 \text{ моль.}$$

Количество газа, образовавшегося в результате реакции, равно сумме количеств силана и водорода:

$$v(\text{r}) = v(\text{SiH}_4) + v(\text{H}_2); v(\text{r}) = 0,5 + 1 = 1,5 \text{ моль.}$$

Рассчитываем объем газа:

$$V(\Gamma) = \nu(\Gamma) \cdot 22,4 \text{ л/моль}; V(\Gamma) = 1,5 \cdot 22,4 = 33,6 \text{ л.}$$

**12.18.** Определите массу осадка, образовавшегося при сливании 50 г раствора силиката натрия (массовая доля 8 %) и 60 мл раствора соляной кислоты с массовой долей HCl 3 % (плотность 1,01 г/мл).

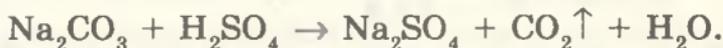
Ответ: 1,94 г.

**12.19.** Определите массовую долю  $\text{SiO}_2$  (в процентах) в составе асбеста  $3\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .

Ответ: 43,5 %.

**12.20.** Смесь, содержащую карбонат натрия и силикат натрия, растворили в воде. Затем к раствору добавили избыток серной кислоты. В результате реакции выделился газ объемом 2,24 л (н.у.) и выпал осадок массой 7,8 г. Определите массовую долю (в процентах) карбоната натрия в исходной смеси.

**Решение.** В данном случае газ (оксид углерода) выделяется только при взаимодействии карбоната натрия с серной кислотой:



Рассчитываем количество оксида углерода:

$$\begin{aligned} \nu(\text{CO}_2) &= V(\text{CO}_2)/22,4 \text{ л/моль}; \\ \nu(\text{CO}_2) &= 2,24/22,4 = 0,1 \text{ моль.} \end{aligned}$$

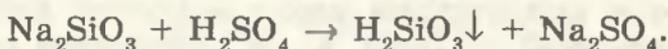
Определяем количество карбоната натрия. Согласно уравнению реакции

$$\nu(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \nu(\text{CO}_2); \nu(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0,1 \text{ моль.}$$

Вычисляем массу карбоната натрия:

$$\begin{aligned} m(\text{Na}_2\text{CO}_3) &= \nu(\text{Na}_2\text{CO}_3) \cdot M(\text{Na}_2\text{CO}_3); \\ m(\text{Na}_2\text{CO}_3) &= 0,1 \cdot 106 = 10,6 \text{ г.} \end{aligned}$$

Осадок (кремниевая кислота) выпадает при взаимодействии силиката натрия с серной кислотой:



Находим количество кремниевой кислоты:

$$\begin{aligned} \nu(\text{H}_2\text{SiO}_3) &= m(\text{H}_2\text{SiO}_3)/M(\text{H}_2\text{SiO}_3); \\ \nu(\text{H}_2\text{SiO}_3) &= 7,8/78 = 0,1 \text{ моль.} \end{aligned}$$

Определяем количество силиката натрия. Из уравнения реакции следует, что

$$\nu(\text{Na}_2\text{SiO}_3) = \nu(\text{H}_2\text{SiO}_3);$$

$$\nu(\text{Na}_2\text{SiO}_3) = 0,1 \text{ моль.}$$

Рассчитываем массу силиката натрия:

$$m(\text{Na}_2\text{SiO}_3) = \nu(\text{Na}_2\text{SiO}_3) \cdot M(\text{Na}_2\text{SiO}_3);$$

$$m(\text{Na}_2\text{SiO}_3) = 0,1 \cdot 122 = 12,2 \text{ г.}$$

Масса исходной смеси равна сумме масс карбоната и силиката натрия:

$$m(\text{смеси}) = m(\text{Na}_2\text{CO}_3) + m(\text{Na}_2\text{SiO}_3);$$

$$m(\text{смеси}) = 10,6 + 12,2 = 22,8 \text{ г.}$$

Вычисляем массовую долю карбоната натрия в исходной смеси:

$$\omega(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{m(\text{Na}_2\text{CO}_3)}{m(\text{смесь})} \cdot 100 \%;$$

$$\omega(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{10,6}{22,8} \cdot 100 = 46,5 \%.$$

**12.21.** К образцу кремния и меди массой 10 г добавили избыток раствора NaOH. В результате этого выделился газ объемом 2,24 л (н.у.). Определите массовую долю (в процентах) меди в образце.

Ответ: 86 %.

## Глава 13. МЕТАЛЛЫ

**13.1.** Определите массовую долю железа (в процентах) в составе лунного минерала пироксфе-роита  $\text{CaFe}_6(\text{SiO}_3)_7$ .

Ответ: 37 %.

**13.2.** Металлический титан можно получить с помощью процесса Кролля. Для этого оксид титана (IV) нагревают в присутствии кокса в потоке хлора при температуре 800 — 1000 °С. В результате реакции образуются хлорид титана (IV) и оксид углерода (IV). На следующей стадии  $\text{TiCl}_4$  восстанавливают расплавленным магнием с образованием титана и  $\text{MgCl}_2$ . Определите, какую массу титана (в тоннах)

можно получить из 100 т руды, содержащей 95 %  $\text{TiO}_2$ , если выход на 1-й стадии равен 90 %, на 2-й — 85 %.

Ответ: 43,6 т.

**13.3.** Смесь стружек цинка и железа обработали избытком раствора гидроксида калия. При этом выделился газ объемом 2,24 л (н.у.). Затем такой же образец смеси обработали избытком соляной кислоты, в результате чего выделился газ объемом 8,96 л (н.у.). Определите массу железа в образце.

**Решение.** В данном случае гидроксид калия реагирует с выделением газа (водорода) только с цинком:



Рассчитываем количество выделившегося водорода:

$$v(\text{H}_2) = V(\text{H}_2)/22,4 \text{ л/моль};$$

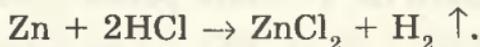
$$v(\text{H}_2) = 2,24/22,4 = 0,1 \text{ моль}.$$

Определяем количество цинка. Согласно уравнению реакции

$$v(\text{Zn}) = v(\text{H}_2); v(\text{Zn}) = 0,1 \text{ моль}.$$

Соляная кислота реагирует как с цинком, так и с железом. В обоих случаях выделяется водород.

Записываем уравнение реакции цинка с соляной кислотой:



Определяем количество водорода, выделившегося при взаимодействии соляной кислоты с цинком. В соответствии с уравнением реакции

$$v_1(\text{H}_2) = v(\text{Zn}); v_1(\text{H}_2) = 0,1 \text{ моль}.$$

Находим объем водорода:

$$V_1(\text{H}_2) = v_1(\text{H}_2) \cdot 22,4 \text{ л/моль};$$

$$V_1(\text{H}_2) = 0,1 \cdot 22,4 = 2,24 \text{ л}.$$

Рассчитываем объем водорода, выделившегося при взаимодействии соляной кислоты с железом:

$$V_2(\text{H}_2) = V(\text{H}_2) - V_1(\text{H}_2);$$

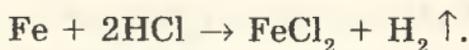
$$V_2(\text{H}_2) = 8,96 - 2,24 = 6,72 \text{ л},$$

и его количество:

$$v_2(\text{H}_2) = V_2(\text{H}_2)/22,4 \text{ л/моль};$$

$$v_2(\text{H}_2) = 6,72/22,4 = 0,3 \text{ моль}.$$

Железо реагирует с соляной кислотой по уравнению



Определяем количество железа. Из уравнения реакции следует, что

$$\nu(\text{Fe}) = \nu_2(\text{H}_2); \nu(\text{Fe}) = 0,3 \text{ моль.}$$

Рассчитываем массу железа:

$$m(\text{Fe}) = \nu(\text{Fe}) \cdot M(\text{Fe});$$

$$m(\text{Fe}) = 0,3 \cdot 56 = 16,8 \text{ г.}$$

**13.4.** Образец смеси массой 13,4 г, состоящей из Mg, Al и Fe, обработали избытком гидроксида натрия. В результате реакции выделился газ объемом 6,72 л (н.у.). Нерастворенный осадок обработали избытком соляной кислоты, в результате чего выделилось 4,48 л (н.у.) водорода. Определите массовую долю магния в исходной смеси.

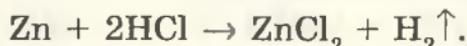
Ответ: 17,9 %.

**13.5.** Сплав кальция с неизвестным металлом массой 13,2 г растворили в соляной кислоте. В результате реакции выделился водород объемом 6,72 л (н.у.). Определите неизвестный металл. Известно, что массовая доля Ca в сплаве равна 60,6 %.

Ответ: Cr.

**13.6.** Цинк растворили в соляной кислоте. Массовая доля HCl в конечном растворе оказалась на 10 % меньше, чем в исходном растворе. Определите массовую долю хлорида цинка в конечном растворе.

**Решение.** Цинк с соляной кислотой реагирует по уравнению



Обозначаем:

массу исходного раствора  $m_1$ ;

массу конечного раствора  $m_2$ ;

количество соляной кислоты, вступившей в реакцию  $\Delta\nu(\text{HCl})$ ;

изменение массовой доли соляной кислоты в растворе  $\Delta\omega(\text{HCl})$ ;

количество цинка, вступившего в реакцию  $x$ .

Тогда количество образовавшихся хлорида цинка и водорода равны  $x$ , а количество прореагировавшей

соляной кислоты —  $2x$ . Выражаем массы цинка и соляной кислоты, вступивших в реакцию, и хлорида цинка и водорода, образовавшихся в результате реакции:

$$\begin{aligned}m(\text{Zn}) &= \nu(\text{Zn}) \cdot M(\text{Zn}); m(\text{Zn}) = 65x; \\ \Delta m(\text{HCl}) &= \Delta \nu(\text{HCl}) \cdot M(\text{HCl}); \Delta m(\text{HCl}) = 73x; \\ m(\text{ZnCl}_2) &= \nu(\text{ZnCl}_2) \cdot M(\text{ZnCl}_2); m(\text{ZnCl}_2) = 136x; \quad (1) \\ m(\text{H}_2) &= \nu(\text{H}_2) \cdot M(\text{H}_2); m(\text{H}_2) = 2x.\end{aligned}$$

Выбираем образец исходного раствора массой 100 г, т.е.  $m_1 = 100$  г. Выражаем массу конечного раствора:

$$\begin{aligned}m_2 &= m_1 + m(\text{Zn}) - m(\text{H}_2); \\ m_2 &= 100 + 65x - 2x.\end{aligned} \quad (2)$$

В уравнение

$$\omega(\text{HCl}) = \Delta m(\text{HCl})/m_2 \cdot 100 \%$$

подставляем известные значения и получаем уравнение

$$10 \% = \frac{73x}{100 + 65x - 2x} \cdot 100 \%$$

Отсюда  $x = 0,15$  моль.

Находим массу хлорида цинка, используя уравнение (1):

$$m(\text{ZnCl}_2) = 136 \cdot 0,15 = 20,4 \text{ г.}$$

Рассчитываем массу конечного раствора по уравнению (2):

$$m_2 = 100 + 65 \cdot 0,15 - 2 \cdot 0,15 = 109,45 \text{ г.}$$

Определяем массовую долю  $\text{ZnCl}_2$ :

$$\omega(\text{ZnCl}_2) = \frac{m(\text{ZnCl}_2)}{m_2} \cdot 100 \%;$$

$$\omega(\text{ZnCl}_2) = \frac{20,4}{109,45} \cdot 100 = 18,6 \%$$

**13.7.** Медь растворили в концентрированной азотной кислоте. Массовая доля  $\text{HNO}_3$  в конечном растворе оказалась на 5 % меньше, чем в исходном растворе. Определите массовую долю  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$  в конечном

растворе. Считать, что  $\text{NO}_2$  полностью удален из раствора.

Ответ: 3,78 %.

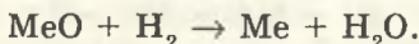
**13.8.** Оксид неизвестного металла (II) массой 14,4 г восстановили смесью  $\text{H}_2$  и  $\text{CO}$ . В результате реакции образовалось 1,8 г  $\text{H}_2\text{O}$  и 4,4 г  $\text{CO}_2$ . Определите неизвестный металл.

**Решение.** Рассчитываем количества воды и оксида углерода (IV):

$$\nu(\text{H}_2\text{O}) = m(\text{H}_2\text{O})/M(\text{H}_2\text{O}); \nu(\text{H}_2\text{O}) = 1,8/18 = 0,1 \text{ моль};$$

$$\nu(\text{CO}_2) = m(\text{CO}_2)/M(\text{CO}_2); \nu(\text{CO}_2) = 4,4/44 = 0,1 \text{ моль}.$$

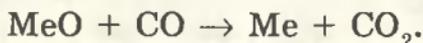
Оксид металла реагирует с водородом по уравнению



Рассчитываем количество оксида металла, вступившего в реакцию с водородом. Согласно уравнению реакции

$$\nu_1(\text{MeO}) = \nu(\text{H}_2\text{O}); \nu_1(\text{MeO}) = 0,1 \text{ моль}.$$

Вычисляем количество оксида металла, вступившего в реакцию с оксидом углерода:



Из уравнения реакции следует, что

$$\nu_2(\text{MeO}) = \nu(\text{CO}_2); \nu_2(\text{MeO}) = 0,1 \text{ моль}.$$

Рассчитываем общее количество оксида металла:

$$\nu(\text{MeO}) = \nu_1(\text{MeO}) + \nu_2(\text{MeO});$$

$$\nu(\text{MeO}) = 0,1 + 0,1 = 0,2 \text{ моль}.$$

Находим молярную массу оксида металла:

$$M(\text{MeO}) = m(\text{MeO})/\nu(\text{MeO});$$

$$M(\text{MeO}) = 14,4/0,2 = 72 \text{ г/моль}.$$

Вычисляем молярную массу неизвестного металла:

$$M(\text{Me}) = M(\text{MeO}) - M(\text{O});$$

$$M(\text{Me}) = 72 - 16 = 56 \text{ г/моль}.$$

Металлом с молярной массой 56 г/моль является Fe.

**13.9.** Оксид неизвестного металла (III) массой 32 г восстановили смесью  $\text{H}_2$  и  $\text{CO}$ . В результате реакции образовалось 5,4 г воды и 13,2 г  $\text{CO}_2$ . Определите неизвестный металл.

Ответ: Fe.

**13.10.** Металлический магний массой 6 г опустили в 100 г раствора сульфата меди с массовой долей  $\text{CuSO}_4$  8 %. Определите массу металла к окончанию реакции.

Ответ: 8 г.

**13.11.** В раствор сульфата меди (II) опустили 100 г железных опилок. К окончанию реакции масса металла составила 108 г. Определите массу железа, вступившего в реакцию.

**Решение.** Железо и сульфат меди реагируют по уравнению



В результате реакции железо растворяется и на опилки осаждается медь. Следовательно, изменение массы металла равно разности масс восстановленной меди и прореагировавшего железа:

$$\Delta m = m(\text{Cu}) - m(\text{Fe}); \Delta m = 108 - 100 = 8 \text{ г.}$$

Значит,

$$m(\text{Cu}) - m(\text{Fe}) = 8 \text{ г.}$$

Отсюда следует, что

$$m(\text{Cu}) = 8 + m(\text{Fe}).$$

Пусть  $x$  — масса железа, вступившего в реакцию, тогда масса меди равна  $(8 + x)$ . Выражаем количества железа и меди:

$$v(\text{Fe}) = m(\text{Fe})/M(\text{Fe}); v(\text{Fe}) = x/56;$$

$$v(\text{Cu}) = m(\text{Cu})/M(\text{Cu}); v(\text{Cu}) = (8 + x)/64.$$

Согласно уравнению реакции

$$v(\text{Fe}) = v(\text{Cu}).$$

В последнее уравнение подставляем значение количеств железа и меди:

$$x/56 = (8 + x)/64.$$

Решаем уравнение  $x = m(\text{Fe}) = 56 \text{ г.}$

**13.12.** В раствор хлорида никеля (II) опустили цинковую пластинку. Через некоторое время масса пластинки уменьшилась на 3 г. Определите массу никеля, образовавшегося в результате реакции.

Ответ: 29,5 г.

**13.13.** В раствор хлорида никеля (II) массой 150 г опустили цинковую пластинку. Через некоторое время масса пластинки уменьшилась на 0,3 г. Определите массовую (в процентах) долю хлорида цинка в растворе.

Ответ: 4,5 %.

**13.14.** Железную пластинку массой 8 г некоторое время выдержали в растворе массой 200 г с массовой долей сульфата меди (II) 15 %, после этого масса пластинки составила 8,8 г. Определите массовую долю (в процентах) сульфата меди в растворе после реакции.

Ответ: 7 %.

**13.15.** Пластинку неизвестного металла поместили в 800 г раствора нитрата свинца (II) с массовой долей  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  5 %. Через некоторое время масса пластинки увеличилась на 14,2 г, а массовая доля  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  стала равной 0,88 %. Какой металл был взят, если известно, что в нитрате он находится в степени окисления +2?

**Решение.** Рассчитываем массу нитрата свинца в исходном растворе:

$$m_1(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2) = (\omega_1(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2) \cdot m_1(\text{p-ра}))/100 \% ;$$

$$m_1(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2) = (5 \cdot 800)/100 = 40 \text{ г.}$$

Вычисляем массу конечного раствора:

$$m_2(\text{p-ра}) = 800 \text{ г} - 14,2 \text{ г} = 785,8 \text{ г.}$$

Находим массу нитрата свинца в конечном растворе:

$$m_2(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2) = (\omega_2(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2) \cdot m_2(\text{p-ра}))/100 \% ;$$

$$m_2(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2) = (0,88 \cdot 785,8)/100 = 6,9 \text{ г.}$$

Масса нитрата свинца, вступившего в реакцию, равна разности масс нитрата свинца в исходном и конечном растворах:

$$m_3(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2) = m_1(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2) - m_2(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2);$$

$$m_3(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2) = 40 - 6,9 = 33,1 \text{ г.}$$

Вычисляем его количество:

$$\nu(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2) = m_3(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2)/M(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2);$$

$$\nu(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2) = 33,1/331 = 0,1 \text{ моль.}$$

Записываем уравнение реакции



Определяем количество образовавшегося свинца.

Согласно уравнению реакции

$$\nu(\text{Pb}) = \nu(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2); \nu(\text{Pb}) = 0,1 \text{ моль.}$$

Рассчитываем массу образовавшегося свинца:

$$m(\text{Pb}) = \nu(\text{Pb}) \cdot M(\text{Pb}); m(\text{Pb}) = 0,1 \cdot 207 = 20,7 \text{ г.}$$

В результате реакции неизвестный металл растворяется, свинец осаждается. Тогда изменение массы пластинки равно разности масс восстановленного свинца и растворенного металла:

$$\Delta m = m(\text{Pb}) - m(\text{Me}).$$

Переписываем уравнение

$$m(\text{Me}) = m(\text{Pb}) - \Delta m$$

и подставляем численные значения (по условию  $\Delta m = 14,2 \text{ г}$ ):

$$m(\text{Me}) = 20,7 - 14,2 = 6,5 \text{ г.}$$

Определяем количество неизвестного металла. Из уравнения реакции следует, что

$$\nu(\text{Me}) = \nu(\text{Pb}); \nu(\text{Me}) = 0,1 \text{ моль.}$$

Находим молярную массу металла:

$$M(\text{Me}) = m(\text{Me})/\nu(\text{Me}); M(\text{Me}) = 6,5/0,1 = 65 \text{ г/моль.}$$

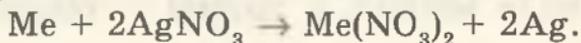
Следовательно, неизвестный металл — цинк.

**13.16.** 30 г магния опустили в раствор сульфата неизвестного металла, проявляющего степень окисления +2. Через некоторое время масса пластинки стала равной 39,5 г, а масса сульфата магния — 12 г. Определите неизвестный металл.

Ответ: Sn.

**13.17.** Неизвестный металл массой 10 г опустили в раствор  $\text{AgNO}_3$ . Через некоторое время масса металлического осадка стала равной 26 г, а масса нитрата неизвестного металла — 18 г. Определите неизвестный металл. Степень окисления металла в составе нитрата равна +2.

**Решение.** Металл с нитратом серебра реагирует по уравнению



В результате реакции неизвестный металл растворяется, серебро осаждается. Тогда

$$\Delta m = m(\text{Ag}) - m(\text{Me}), \text{ или } \Delta m = 26 - 10 = 16 \text{ г.}$$

Выражаем массу серебра:

$$m(\text{Ag}) = m(\text{Me}) + \Delta m; m(\text{Ag}) = m(\text{Me}) + 16. \quad (1)$$

Рассчитываем массу нитрата серебра, вступившего в реакцию:

$$m(\text{AgNO}_3) = m(\text{Me}(\text{NO}_3)_2) - m(\text{Me}) + m(\text{Ag}).$$

В уравнение подставляем численные значения масс нитрата неизвестного металла (по условию — 18 г) и серебра (уравнение (1)):

$$m(\text{AgNO}_3) = 18 - m(\text{Me}) + m(\text{Me}) + 16 = 34 \text{ г.}$$

Находим количество нитрата серебра:

$$\nu(\text{AgNO}_3) = m(\text{AgNO}_3) / M(\text{AgNO}_3);$$

$$\nu(\text{AgNO}_3) = 34 / 170 = 0,2 \text{ моль.}$$

Определяем количество восстановленного серебра. Согласно уравнению реакции

$$\nu(\text{Ag}) = \nu(\text{AgNO}_3); \nu(\text{Ag}) = 0,2 \text{ моль.}$$

Вычисляем массу осажденного серебра:

$$m(\text{Ag}) = \nu(\text{Ag}) \cdot M(\text{Ag}); m(\text{Ag}) = 0,2 \cdot 108 = 21,6 \text{ г.}$$

Рассчитываем массу неизвестного металла, вступившего в реакцию в соответствии с уравнением (1):

$$m(\text{Me}) = m(\text{Ag}) - 16;$$

$$m(\text{Me}) = 21,6 - 16 = 5,6 \text{ г.}$$

Определяем количество неизвестного металла. Из уравнения реакции следует, что

$$\nu(\text{Me}) = 0,5\nu(\text{Ag}); \nu(\text{Me}) = 0,5 \cdot 0,2 = 0,1 \text{ моль.}$$

Находим молярную массу металла:

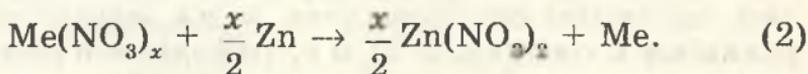
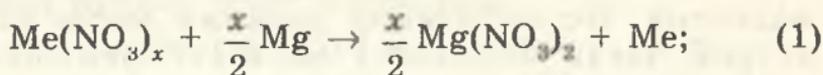
$$M(\text{Me}) = m(\text{Me}) / \nu(\text{Me}); M(\text{Me}) = 5,6 / 0,1 = 56 \text{ г/моль.}$$

Следовательно, неизвестный металл — железо.

**13.18.** Нитрат неизвестного металла растворили в воде. Раствор разделили на две равные части. К одной части добавили магний, к другой — такую же массу

цинка. По окончании реакции масса осадка во второй части оказалась на 2,05 г меньше. После добавления избытка соляной кислоты к обоим осадкам они частично растворились и их массы оказались равными и составили 3,2 г. Определите неизвестный металл.

**Решение.** Записываем уравнения реакций:



В результате реакции магний и цинк растворяются, неизвестный металл осаждается. Цинк и магний растворяются в соляной кислоте. Следовательно, в осадке после действия соляной кислоты будет находиться только неизвестный металл. Значит, в результате как 1-й, так и 2-й реакции образовалось 3,2 г неизвестного металла.

Поскольку массы образовавшегося неизвестного металла в обеих частях равны, равны и его количества в обеих частях. Согласно этому равны и количества магния и цинка, вступивших в реакцию с нитратом, так как равны их валентности. При условии, что в реакцию вступят 1 моль магния и 1 моль цинка, массы осадков будут отличаться на величину:

$$\Delta m = 65 \text{ г} - 24 \text{ г} = 41 \text{ г}.$$

В условии сказано, что  $\Delta m_1 = 2,05 \text{ г}$ . Составляем пропорцию:

$$\begin{array}{l} \text{если } 1 \text{ моль Mg прореагирует, то } \Delta m = 41 \text{ г;} \\ \text{» } x \text{ моль } \text{»} \text{»} \Delta m_1 = 2,05 \text{ г;} \\ x = \nu(\text{Mg}) = 0,05 \text{ моль.} \end{array}$$

Выражаем количество неизвестного металла. Согласно уравнению реакции (1):

$$\nu(\text{Me}) = 2\nu(\text{Mg})/x; \nu(\text{Me}) = 2 \cdot 0,05/x = 0,1/x.$$

Выражаем молярную массу неизвестного металла:

$$M(\text{Me}) = m(\text{Me})/\nu(\text{Me}); M(\text{Me}) = 3,2/0,1/x = 32x,$$

где  $x$  — валентность металла. Принимаем валентность металла, равную единице ( $x=1$ ). Тогда его молярная масса равна 32 г/моль. Такой металл не существует.

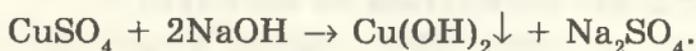
Если же металл двухвалентен ( $x=2$ ), то его молярная масса составляет 64 г/моль. Металлом с такой молярной массой является медь.

**13.19.** Нитрат неизвестного металла растворили в воде. Раствор разделили на две равные части. К одной части добавили магний, к другой — такую же массу марганца. По окончании реакции масса осадка во второй части оказалась на 3,1 г меньше. После добавления избытка соляной кислоты к обоим осадкам они частично растворились и их массы оказались равными и составили 21,6 г. Определите неизвестный металл.

Ответ: Ag.

**13.20.** В водный раствор хлорида меди опустили медные электроды массой по 20 г каждый. К электродам подключили источник постоянного тока. Через некоторое время катод растворили в концентрированной серной кислоте. Затем к раствору добавили избыток гидроксида натрия. В результате выпал осадок массой 49 г. Определите массу анода после электролиза.

**Решение.** При растворении медного катода в концентрированной серной кислоте образуется сульфат меди, который реагирует с гидроксидом натрия с образованием осадка гидроксида меди:



Рассчитываем количество гидроксида меди:

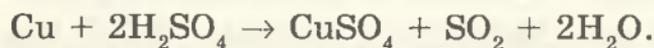
$$v(\text{Cu(OH)}_2) = m(\text{Cu(OH)}_2) / M(\text{Cu(OH)}_2);$$

$$v(\text{Cu(OH)}_2) = 49 / 98 = 0,5 \text{ моль.}$$

Определяем количество образовавшегося сульфата меди. Согласно уравнению реакции

$$v(\text{CuSO}_4) = v(\text{Cu(OH)}_2); v(\text{CuSO}_4) = 0,5 \text{ моль.}$$

Записываем уравнение реакции взаимодействия меди и серной кислоты:



Определяем количество меди. Из уравнения реакции следует, что

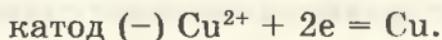
$$v(\text{Cu}) = v(\text{CuSO}_4); v(\text{Cu}) = 0,5 \text{ моль.}$$

Находим массу катода после электролиза:

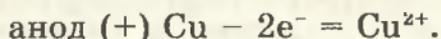
$$m(\text{катода}) = v(\text{Cu}) \cdot M(\text{Cu});$$

$$m(\text{катода}) = 0,5 \cdot 64 = 32 \text{ г.}$$

Рассмотрим процессы, протекающие на электродах. На катоде будут восстанавливаться ионы меди. При этом масса катода будет возрастать:



На аноде будет происходить окисление меди, т.е. анод будет растворяться :



Рассчитываем массу меди, осажденной на катоде:

$$m(\text{Cu}) = 32 - 20 = 12 \text{ г.}$$

Масса анода уменьшилась ровно на столько, на сколько возросла масса катода (на 12 г). Находим массу анода:

$$m(\text{анода}) = 20 - 12 = 8 \text{ г.}$$

**13.21.** При электролизе водного раствора сульфата меди с инертными электродами на катоде получили 6,4 г меди. Какой объем раствора с массовой долей гидроксида натрия 30 % и плотностью 1,33 г/мл нужно затратить на нейтрализацию кислоты, образовавшейся в результате электролиза?

Ответ: 20 мл.

**13.22.** При электролизе с инертными электродами раствора NaCl массой 150 г с массовой долей соли 10 % на аноде выделилось 2,24 л (н.у.) Cl<sub>2</sub>. Определите массовую долю (в процентах) NaCl в конечном растворе.

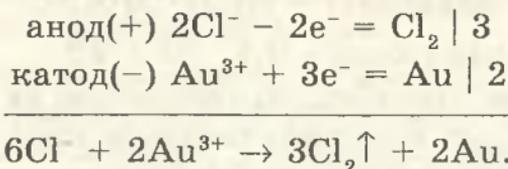
Ответ: 2,3 %.

**13.23.** При электролизе с инертными электродами раствора AgNO<sub>3</sub> массой 300 г с массовой долей соли 15 % на аноде выделилось 1,12 л кислорода. Определите массовую долю (в процентах) AgNO<sub>3</sub> в конечном растворе.

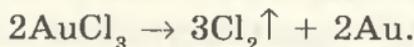
Ответ: 4 %.

**13.24.** В результате электролиза раствора AuCl<sub>3</sub> с инертными электродами масса раствора уменьшилась на 60,7 г. Определите массу золота, выделившегося на катоде.

**Решение.** Рассмотрим процессы, протекающие на электродах:



Записываем уравнение в молекулярной форме:



Уменьшение массы раствора связано с осаждением золота на катоде и выделением газа хлора на аноде. Если в результате электролиза образуется 3 моль молекулярного хлора и 2 моль золота, масса раствора уменьшится на 607 ( $3 \cdot 71 + 2 \cdot 197$ ) г, а масса выделившегося золота на катоде будет равна 394 ( $2 \cdot 197$ ) г. Составляем пропорцию:

$$\begin{array}{l} 607 \text{ г} \text{ — } 394 \text{ г Au}; \\ 60,7 \text{ г} \text{ — } x; \\ x = 39,4 \text{ г}. \end{array}$$

**13.25.** В результате электролиза раствора  $\text{CuSO}_4$  с инертными электродами масса раствора уменьшилась на 32 г. Определите объем (н.у.) кислорода, выделившегося на аноде.

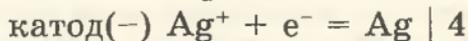
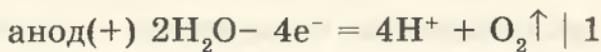
Ответ: 4,48 л.

**13.26.** В результате электролиза раствора  $\text{ZnCl}_2$  с инертными электродами на аноде выделилось 2,64 л (н.у.)  $\text{Cl}_2$ . Осажденный на катоде Zn растворили в избытке соляной кислоты. При этом выделилось 2,24 л  $\text{H}_2$  (н.у.). Определите выход (в процентах) Zn, если выход  $\text{Cl}_2$  и  $\text{H}_2$  равен 100 %.

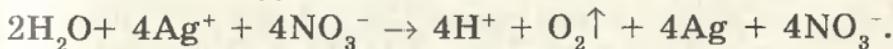
Ответ: 85 %.

**13.27.** Электролиз раствора  $\text{AgNO}_3$  с массовой долей соли 10 % массой 170 г с инертными электродами проводили до тех пор, пока массовая доля  $\text{HNO}_3$  не стала равной 5 %. Определите объем (н.у.) кислорода, выделившегося на аноде.

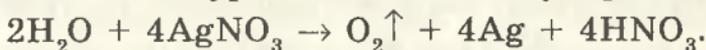
**Решение.** Составляем уравнение электролиза  $\text{AgNO}_3$ :



Записываем уравнение в полной ионной форме:



Переписываем уравнение в молекулярной форме:



Рассчитываем массу нитрата серебра в растворе:

$$m(\text{AgNO}_3) = \omega(\text{AgNO}_3) \cdot m(\text{р-ра})/100 \%;$$

$$m(\text{AgNO}_3) = 10 \cdot 170/100 = 17 \text{ г.}$$

Вычисляем количество нитрата серебра:

$$v(\text{AgNO}_3) = m(\text{AgNO}_3)/M(\text{AgNO}_3);$$

$$v(\text{AgNO}_3) = 17/170 = 0,1 \text{ моль.}$$

Определяем количество азотной кислоты. Из уравнения реакции следует, что

$$v(\text{HNO}_3) = v(\text{AgNO}_3); v(\text{HNO}_3) = 0,1 \text{ моль.}$$

Находим массу азотной кислоты:

$$m(\text{HNO}_3) = v(\text{HNO}_3) \cdot M(\text{HNO}_3);$$

$$m(\text{HNO}_3) = 0,1 \cdot 63 = 6,3 \text{ г.}$$

Рассчитываем массу конечного раствора:

$$m_1(\text{р-ра}) = (m(\text{HNO}_3) \cdot 100 \%) / \omega(\text{HNO}_3);$$

$$m_1(\text{р-ра}) = (6,3 \cdot 100)/5 = 126 \text{ г.}$$

Определяем массы выделившихся на первой стадии электролиза серебра и кислорода. Для этого вначале вычисляем количество серебра. Согласно уравнению реакции

$$v(\text{Ag}) = v(\text{AgNO}_3); v(\text{Ag}) = 0,1 \text{ моль.}$$

Рассчитываем его массу:

$$m(\text{Ag}) = v(\text{Ag}) \cdot M(\text{Ag}); m(\text{Ag}) = 0,1 \cdot 108 = 10,8 \text{ г.}$$

Определяем количество кислорода. Согласно уравнению реакции

$$v(\text{O}_2) = 0,25v(\text{AgNO}_3); v(\text{O}_2) = 0,1 \cdot 0,25 = 0,025 \text{ моль.}$$

Рассчитываем его массу:

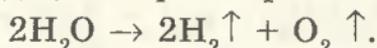
$$m(\text{O}_2) = v(\text{O}_2) \cdot M(\text{O}_2); m(\text{O}_2) = 0,025 \cdot 32 = 0,8 \text{ г.}$$

Масса раствора по окончании первой стадии электролиза равна:

$$m_2(\text{р-ра}) = 170 \text{ г} - m(\text{Ag}) - m(\text{O}_2);$$

$$m_2(\text{р-ра}) = 170 - 10,8 - 0,8 = 158,4 \text{ г}.$$

Масса же раствора, как установлено нами, по окончании электролиза равна 126 г. Уменьшение массы раствора со 158,4 г до 126 г (на 32,4 г) определяется электролизом воды, который протекает по уравнению



Уменьшение массы раствора на второй стадии электролиза связано с выделением водорода и кислорода. Если в результате электролиза образуется 1 моль кислорода и 2 моль водорода, масса раствора уменьшится на 36 г ( $1 \cdot 32 + 2 \cdot 2$ ), а объем выделившегося кислорода (н.у.) будет равен 22,4 л.

Составляем пропорцию:

$$36 \text{ г} \text{ — } 22,4 \text{ л O}_2;$$

$$32,4 \text{ г} \text{ — } x.$$

$$x = V_1(\text{O}_2) = (32,4 \cdot 22,4)/36 = 20,16 \text{ л}.$$

Рассчитываем объем кислорода, выделившегося на первой стадии:

$$V_2(\text{O}_2) = v(\text{O}_2) \cdot 22,4 \text{ л/моль};$$

$$V_2(\text{O}_2) = 0,025 \cdot 22,4 = 0,56 \text{ л}.$$

Объем кислорода, образовавшегося в результате электролиза, равен сумме объемов кислорода, выделившихся на первой и второй стадиях:

$$V(\text{O}_2) = V_1(\text{O}_2) + V_2(\text{O}_2);$$

$$V(\text{O}_2) = 20,16 + 0,56 = 20,72 \text{ л}.$$

**13.28.** Электролиз раствора сульфата меди (массовая доля 10 %) массой 160 г с инертными электродами проводили до тех пор, пока массовая доля  $\text{H}_2\text{SO}_4$  не стала равной 8 %. Определите объем (н.у.) водорода, выделившегося на катоде.

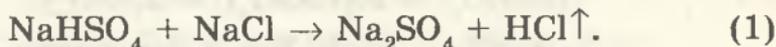
Ответ: 36,7 л.

**13.29.** Образец неизвестного соединения X содержит 4,6 г натрия, 0,2 г водорода, 2,4 г углерода и 9,6 г кислорода. Установите формулу соединения X.

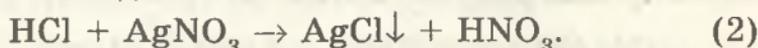
Ответ:  $\text{NaHCO}_3$ .

**13.30.** Смесь, состоящую из  $\text{NaHSO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NaCl}$ , нагрели. При этом выделился газ, который пропустили через избыток раствора нитрата серебра. Выпал осадок массой 14,35 г. Сухой остаток после прокаливания растворили в воде. Раствор имел нейтральную среду, и при добавлении к нему небольших порций  $\text{AgNO}_3$  осадок не образовывался. Затем к раствору добавили избыток раствора хлорида бария. Выпал осадок массой 46,6 г. Определите массу солей в исходной смеси.

**Решение.** При нагревании смеси протекает реакция по уравнению



Хлороводород реагирует с нитратом серебра с образованием осадка:



Вычисляем количество хлорида серебра:

$$\nu(\text{AgCl}) = m(\text{AgCl})/M(\text{AgCl});$$

$$\nu(\text{AgCl}) = 14,35/143,5 = 0,1 \text{ моль.}$$

Определяем количество хлороводорода. Согласно уравнению реакции (2)

$$\nu(\text{HCl}) = \nu(\text{AgCl}); \nu(\text{HCl}) = 0,1 \text{ моль.}$$

Поскольку раствор остатка после прокаливания имел нейтральную среду и при добавлении к нему небольших порций нитрата серебра осадок не образовывался, гидросульфат натрия и хлорид натрия прореагировали полностью.

Определяем количества гидросульфата и хлорида натрия. Согласно уравнению реакции (1)

$$\nu(\text{NaHSO}_4) = \nu(\text{HCl}); \nu(\text{NaHSO}_4) = 0,1 \text{ моль};$$

$$\nu(\text{NaCl}) = \nu(\text{HCl}); \nu(\text{NaCl}) = 0,1 \text{ моль.}$$

Рассчитываем массы гидросульфата и хлорида натрия:

$$m(\text{NaHSO}_4) = \nu(\text{NaHSO}_4) \cdot M(\text{NaHSO}_4);$$

$$m(\text{NaHSO}_4) = 0,1 \cdot 120 = 12 \text{ г};$$

$$m(\text{NaCl}) = \nu(\text{NaCl}) \cdot M(\text{NaCl});$$

$$m(\text{NaCl}) = 0,1 \cdot 58,5 = 5,85 \text{ г.}$$

Определяем количество сульфата натрия, образовавшегося в результате прокаливания. Согласно уравнению реакции (1)

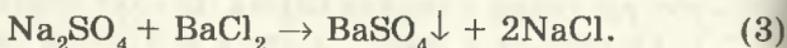
$$v_1(\text{Na}_2\text{SO}_4) = v(\text{HCl}); v_1(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 0,1 \text{ моль.}$$

Находим массу  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ :

$$m_1(\text{Na}_2\text{SO}_4) = v_1(\text{Na}_2\text{SO}_4) \cdot M(\text{Na}_2\text{SO}_4);$$

$$m_1(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 0,1 \cdot 142 = 14,2 \text{ г.}$$

Хлорид бария будет реагировать с сульфатом натрия по уравнению



Рассчитываем количество сульфата бария:

$$v(\text{BaSO}_4) = m(\text{BaSO}_4)/M(\text{BaSO}_4);$$

$$v(\text{BaSO}_4) = 46,6/233 = 0,2 \text{ моль.}$$

Находим количество сульфата натрия в остатке после прокаливания. Согласно уравнению реакции (3)

$$v_2(\text{Na}_2\text{SO}_4) = v(\text{BaSO}_4); v_2(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 0,2 \text{ моль.}$$

Определяем его массу:

$$m_2(\text{Na}_2\text{SO}_4) = v_2(\text{Na}_2\text{SO}_4) \cdot M(\text{Na}_2\text{SO}_4);$$

$$m_2(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 0,2 \cdot 142 = 28,4 \text{ г.}$$

Рассчитываем массу сульфата натрия в исходной смеси:

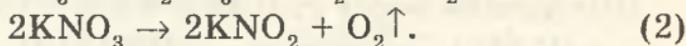
$$m_3(\text{Na}_2\text{SO}_4) = m_2(\text{Na}_2\text{SO}_4) - m_1(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 28,4 - 14,2 = 14,2 \text{ г.}$$

**13.31.** Смесь, состоящую из  $\text{NaHSO}_4$ ,  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NaCl}$  массой 50 г, нагрели. При этом выделился газ, который пропустили через избыток раствора нитрата серебра. Выпал осадок массой 28,7 г. Сухой остаток после прокаливания растворили в воде. Раствор имел нейтральную среду, и при добавлении к нему небольших порций  $\text{AgNO}_3$  осадок не образовывался. Определите массу  $\text{K}_2\text{SO}_4$  в исходной смеси.

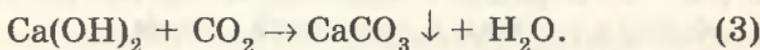
Ответ: 14,3 г.

**13.32.** Смесь массой 50,2 г, состоящую из сульфата, нитрата и гидрокарбоната калия, прокалили при  $450^\circ\text{C}$ . Выделился газ. Газовую смесь охладили до  $0^\circ\text{C}$  при давлении, равном 1 атм. В этих условиях объем газа составил 4,48 л. При пропускании газа через избыток раствора  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  выпал осадок массой 10 г. Определите массу  $\text{K}_2\text{SO}_4$  в исходной смеси. При  $450^\circ\text{C}$  разлагаются  $\text{KHCO}_3$  и  $\text{KNO}_3$ ,  $\text{K}_2\text{SO}_4$  и  $\text{K}_2\text{CO}_3$  устойчивы при данной температуре.

**Решение.** При 450 °С гидрокарбонат калия и нитрат калия будут разлагаться по уравнениям



При нормальных условиях в газообразном состоянии будут находиться кислород и оксид углерода (IV). При их пропускании через раствор гидроксида кальция  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  будет реагировать только с оксидом углерода:



Вычисляем количество карбоната кальция:

$$v(\text{CaCO}_3) = m(\text{CaCO}_3)/M(\text{CaCO}_3);$$

$$v(\text{CaCO}_3) = 10/100 = 0,1 \text{ моль.}$$

Рассчитываем количество оксида углерода, выделившегося при разложении гидрокарбоната калия.

Согласно уравнению реакции (3)

$$v(\text{CO}_2) = v(\text{CaCO}_3); v(\text{CO}_2) = 0,1 \text{ моль.}$$

Находим объем оксида углерода:

$$V(\text{CO}_2) = v(\text{CO}_2) \cdot 22,4 \text{ л/моль};$$

$$V(\text{CO}_2) = 0,1 \cdot 22,4 = 2,24 \text{ л.}$$

Определяем количество гидрокарбоната калия. Из уравнения реакции (1) следует, что

$$v(\text{KHCO}_3) = 2v(\text{CO}_2); v(\text{KHCO}_3) = 0,2 \text{ моль.}$$

Рассчитываем его массу:

$$m(\text{KHCO}_3) = v(\text{KHCO}_3) \cdot M(\text{KHCO}_3);$$

$$m(\text{KHCO}_3) = 0,2 \cdot 100 = 20 \text{ г.}$$

Устанавливаем объем кислорода, выделившегося при разложении  $\text{KNO}_3$ :

$$V(\text{O}_2) = V(\Gamma) - V(\text{CO}_2); V(\text{O}_2) = 4,48 - 2,24 = 2,24 \text{ л.}$$

Находим количество кислорода:

$$v(\text{O}_2) = V(\text{O}_2)/22,4 \text{ л/моль};$$

$$v(\text{O}_2) = 2,24/22,4 = 0,1 \text{ моль.}$$

Определяем количество нитрата калия. Согласно уравнению реакции (2)

$$v(\text{KNO}_3) = 2v(\text{O}_2); v(\text{KNO}_3) = 2 \cdot 0,1 = 0,2 \text{ моль.}$$

Находим массу нитрата калия:

$$m(\text{KNO}_3) = v(\text{KNO}_3) \cdot M(\text{KNO}_3);$$

$$m(\text{KNO}_3) = 0,2 \cdot 101 = 20,2 \text{ г.}$$

Вычисляем массу сульфата калия:

$$m(\text{K}_2\text{SO}_4) = m(\text{смеси}) - m(\text{KHCO}_3) - m(\text{KNO}_3);$$

$$m(\text{K}_2\text{SO}_4) = 50,2 - 20 - 20,2 = 10 \text{ г.}$$

**13.33.** При прокаливании смеси карбоната и гидрокарбоната натрия массой 40 г образовалось 3,6 г воды. Определите массовую долю (в процентах) карбоната натрия в исходной смеси.

Ответ: 16 %.

**13.34.** Через раствор гидроксида натрия объемом 50 мл и плотностью 1,1 г/мл пропустили 2,24 л (н.у.)  $\text{CO}_2$ . В результате образовалось 9,5 г смеси двух солей. Определите массовую долю (в процентах)  $\text{NaOH}$  в исходном растворе.

Ответ: 10,9 %.

**13.35.** Два стакана одинаковой массы, содержащих по 200 г раствора  $\text{HCl}$  с массовой долей кислоты 7,3 %, поместили на две чаши весов. В первый добавили 12,6 г  $\text{MgCO}_3$ . Определите, какую массу  $\text{CaCO}_3$  нужно добавить во второй стакан, чтобы весы уравнились.

**Решение.** Вычисляем массу соляной кислоты в стакане:

$$m(\text{HCl}) = (\omega(\text{HCl}) \cdot m(\text{р-ра}))/100 \text{ %};$$

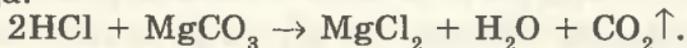
$$m(\text{HCl}) = (7,3 \cdot 200)/100 = 14,6 \text{ г.}$$

Рассчитываем количества соляной кислоты и карбоната магния:

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

$$v(\text{MgCO}_3) = m(\text{MgCO}_3)/M(\text{MgCO}_3) = 12,6/84 = 0,15 \text{ моль.}$$

Определяем массу содержимого первого стакана  $m_1$  после добавления карбоната магния. Для этого сначала устанавливаем количество выделившегося оксида углерода:



Определяем вещество, взятое в избытке. С 0,15 моль карбоната магния прореагирует 0,3 моль соляной кислоты. Следовательно,  $\text{HCl}$  находится в избытке. Расчет проводим по карбонату магния.

Согласно уравнению реакции

$$\nu(\text{CO}_2) = \nu(\text{MgCO}_3); \nu(\text{CO}_2) = 0,15 \text{ моль.}$$

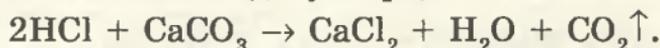
Рассчитываем его массу:

$$m(\text{CO}_2) = \nu(\text{CO}_2) \cdot M(\text{CO}_2);$$
$$m(\text{CO}_2) = 0,15 \cdot 44 = 6,6 \text{ г.}$$

Тогда масса содержимого стакана будет равна:

$$m_1 = m(\text{р-ра HCl}) + m(\text{MgCO}_3) - m(\text{CO}_2);$$
$$m_1 = 200 + 12,6 - 6,6 = 206 \text{ г.}$$

Для того чтобы весы уравновесились, масса содержимого второго стакана должна быть равной 206 г, т.е. его масса должна увеличиться на 6 г. Карбонат кальция с соляной кислотой будет реагировать с выделением газа оксида углерода:



Из уравнения реакции следует, что при добавлении 1 моль (100 г) карбоната кальция в стакан в результате реакции выделяется 1 моль (44 г) оксида углерода. Следовательно, увеличение массы раствора будет равно 56 (100 - 44) г. Составляем пропорцию:

$$\begin{array}{l} \text{при добавлении } 100 \text{ г CaCO}_3 \text{ масса увеличивается на } 56 \text{ г;} \\ \text{»} \quad \quad \quad x \text{ г} \quad \quad \quad \text{»} \quad \quad \quad \text{»} \quad \quad \quad \text{на } 6 \text{ г;} \\ x = m(\text{CaCO}_3) = 10,7 \text{ г.} \end{array}$$

**13.36.** Два стакана одинаковой массы поместили на две чаши весов. В первом стакане содержалось 100 г воды, во втором — 100 г раствора HCl с массовой долей 7,3%. В первый стакан добавили 4 г Ca. В результате реакции Ca полностью растворился. Определите, какую массу BaCO<sub>3</sub> нужно добавить во второй стакан, чтобы весы уравновесились.

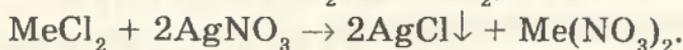
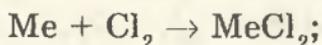
Ответ: 4,9 г.

**13.37.** Установите формулу соединения, массовые доли Ca, H, C и O в котором соответственно равны 24,69; 1,23; 14,81 и 59,26%.

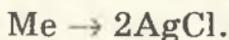
Ответ: Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>.

**13.38.** Двухвалентный металл (2,4 г) прореагировал с хлором. Образовавшийся хлорид растворили в воде. К раствору добавили избыток AgNO<sub>3</sub>. Выпал осадок массой 28,7 г. Определите неизвестный металл.

**Решение.** Записываем уравнения реакций:



При решении задачи можно использовать схему:



Рассчитываем количество хлорида серебра:

$$\nu(\text{AgCl}) = m(\text{AgCl})/M(\text{AgCl});$$

$$\nu(\text{AgCl}) = 28,7/143,5 = 0,2 \text{ моль}.$$

Определяем количество неизвестного металла.

Согласно схеме

$$\nu(\text{Me}) = 0,5\nu(\text{AgCl});$$

$$\nu(\text{Me}) = 0,5 \cdot 0,2 = 0,1 \text{ моль}.$$

Находим молярную массу металла:

$$M(\text{Me}) = m(\text{Me})/\nu(\text{Me});$$

$$M(\text{Me}) = 2,4/0,1 = 24 \text{ г/моль}.$$

Следовательно, искомый металл — магний.

**13.39.** Составьте электронные формулы атомов Mg, Ba, Ca и иона  $\text{Ba}^{2+}$ .

**13.40.** Массовая доля воды в составе кристаллогидрата  $\text{CaCl}_2 \cdot (x\text{H}_2\text{O})$  равна 0,4932. Определите  $x$ .

Ответ: 6.

**13.41.** При растворении навески массой 20,7 г, состоящей из Al,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , в растворе гидроксида калия выделилось 3,36 л (н.у.)  $\text{H}_2$ . На растворение навески было затрачено 22,4 г гидроксида калия. Определите массу гидроксида алюминия в составе навески.

Ответ: 7,8 г.

**13.42.** Какой минимальный объем раствора NaOH с массовой долей гидроксида натрия 30 % потребуется для растворения навески, состоящей из 2,7 г Al; 10,2 г  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и 7,8 г  $\text{Al}(\text{OH})_3$ ? Плотность раствора NaOH равна 1,33 г/мл.

Ответ: 40,1 мл.

**13.43.** Определите массу осадка, образующегося при сливании раствора, содержащего 14 г NaOH, и раствора, содержащего 13,35 г  $\text{AlCl}_3$ .

**Решение.** При эквивалентном количестве гидрок-сида натрия хлорид алюминия реагирует с ним по уравнению

$$\text{AlCl}_3 + 3\text{NaOH} \rightarrow \text{Al}(\text{OH})_3 \downarrow + 3\text{NaCl}.$$

Рассчитываем количество хлорида алюминия и гидроксида натрия:

$$v(\text{AlCl}_3) = m(\text{AlCl}_3)/M(\text{AlCl}_3);$$

$$v(\text{AlCl}_3) = 13,35/133,5 = 0,1 \text{ моль};$$

$$v(\text{NaOH}) = m(\text{NaOH})/M(\text{NaOH});$$

$$v(\text{NaOH}) = 14/40 = 0,35 \text{ моль}.$$

Определяем количество гидроксида алюминия при 100%-ном выходе. Для этого устанавливаем вещество, взятое в избытке. С 0,1 моль хлорида алюминия прореагирует 0,3 моль гидроксида натрия. Следовательно, гидроксид натрия в избытке. Расчет проводим по хлориду алюминия. Согласно уравнению реакции

$$v_1(\text{Al}(\text{OH})_3) = v(\text{AlCl}_3);$$

$$v_1(\text{Al}(\text{OH})_3) = 0,1 \text{ моль}.$$

Избыток гидроксида натрия равен разности количеств NaOH в исходном растворе и NaOH, израсходованного на образование гидроксида алюминия:

$$v_1(\text{NaOH}) = 0,35 - 0,3 = 0,05 \text{ моль}.$$

Поскольку гидроксид натрия взят в избытке, гидроксид алюминия будет реагировать с ним с образованием растворимого тетрагидроксоалюмината натрия по уравнению



Определяем количество гидроксида алюминия, вступившего в реакцию. Согласно уравнению реакции

$$v_2(\text{Al}(\text{OH})_3) = v_1(\text{NaOH}); v_2(\text{Al}(\text{OH})_3) = 0,05 \text{ моль}.$$

Рассчитываем количество гидроксида алюминия в составе осадка:

$$v_3(\text{Al}(\text{OH})_3) = v_1(\text{Al}(\text{OH})_3) - v_2(\text{Al}(\text{OH})_3);$$

$$v_3(\text{Al}(\text{OH})_3) = 0,1 - 0,05 = 0,05 \text{ моль}.$$

Определяем массу осадка:

$$m(\text{осадка}) = v_3(\text{Al}(\text{OH})_3) \cdot M(\text{Al}(\text{OH})_3) = 0,05 \cdot 78 = 3,9 \text{ г}.$$

13.44. К раствору, содержащему 26,7 г хлорида алюминия, прилили раствор, содержащий 23,4 г сульфида натрия. Определите массу образовавшегося осадка.

Ответ: 15,6 г.

13.45. При гидролизе средней соли образовалось 10,2 г соединения  $H_2X$ , массовая доля водорода в котором равна 0,0588, и 15,6 г  $Y(OH)_3$ , массовая доля  $Y$  — 0,3462. Определите формулу соли.

Решение. Рассчитываем массы водорода и  $X$  в образце  $H_2X$ :

$$m(H) = \omega(H) \cdot m(H_2X); m(H) = 0,0588 \cdot 10,2 = 0,6 \text{ г};$$

$$m(X) = m(H_2X) - m(H); m(X) = 10,2 - 0,6 = 9,6 \text{ г}.$$

Вычисляем количество водорода:

$$\nu(H) = m(H)/M(H); \nu(H) = 0,6/1 = 0,6 \text{ моль}.$$

Из формулы  $H_2X$  следует, что

$$\nu(X) = 0,5\nu(H);$$

$$\nu(X) = 0,5 \cdot 0,6 = 0,3 \text{ моль}.$$

Находим молярную массу  $X$ :

$$M(X) = m(X)/\nu(X); M(X) = 9,6/0,3 = 32 \text{ г/моль}.$$

Следовательно,  $X$  — сера.

Рассчитываем массу  $Y$  в образце  $Y(OH)_3$ :

$$m(Y) = \omega(Y) \cdot m(Y(OH)_3); m(Y) = 0,3462 \cdot 15,6 = 5,4 \text{ г}.$$

Выражаем количества  $Y(OH)_3$  и  $Y$ :

$$\nu(Y(OH)_3) = m(Y(OH)_3)/M(Y(OH)_3);$$

$$\nu(Y(OH)_3) = 15,6/(M(Y) + 51);$$

$$\nu(Y) = m(Y)/M(Y); \nu(Y) = 5,4/M(Y).$$

Из формулы  $Y(OH)_3$  следует, что

$$\nu(Y(OH)_3) = \nu(Y).$$

Подставляем в уравнение количества  $Y(OH)_3$  и  $Y$ :

$$15,6/(M(Y) + 51) = 5,4/M(Y),$$

откуда  $M(Y) = 27$  г/моль. Следовательно,  $Y$  — алюминий.

Таким образом, средняя соль образована алюминием и серой.

Рассчитываем количества алюминия и серы в образце соли:

$$v(\text{Al}) = m(\text{Y})/M(\text{Al}); v(\text{Al}) = 5,4/27 = 0,2 \text{ моль};$$

$$v(\text{S}) = m(\text{X})/M(\text{S}); v(\text{S}) = 9,6/32 = 0,3 \text{ моль}.$$

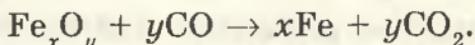
Находим отношение количества алюминия к количеству серы:

$$v(\text{Al}) : v(\text{S}) = 0,2 : 0,3 = 2 : 3.$$

Следовательно, формула соли  $\text{Al}_2\text{S}_3$ .

**13.46.** На реакцию с 46,4 г оксида железа было затрачено 22,4 г CO. В результате реакции было получено железо. Определите формулу оксида железа.

**Решение.** Составляем схему реакции:



Рассчитываем количество оксида углерода (II):

$$v(\text{CO}) = m(\text{CO})/M(\text{CO}); v(\text{CO}) = 22,4/28 = 0,8 \text{ моль}.$$

Определяем количество образовавшегося оксида углерода (IV). Согласно уравнению реакции

$$v(\text{CO}_2) = v(\text{CO}); v(\text{CO}_2) = 0,8 \text{ моль};$$

Рассчитываем его массу:

$$m(\text{CO}_2) = v(\text{CO}_2) \cdot M(\text{CO}_2);$$

$$m(\text{CO}_2) = 0,8 \cdot 44 = 35,2 \text{ г}.$$

Масса кислорода в составе  $\text{Fe}_x\text{O}_y$  равна разнице масс оксида углерода (IV) и оксида углерода (II):

$$m(\text{O}) = m(\text{CO}_2) - m(\text{CO}); m(\text{O}) = 35,2 - 22,4 = 12,8 \text{ г}.$$

Масса железа в составе оксида железа равна разнице масс оксида и кислорода:

$$m(\text{Fe}) = m(\text{Fe}_x\text{O}_y) - m(\text{O}); m(\text{Fe}) = 46,4 - 12,8 = 33,6 \text{ г}.$$

Рассчитываем количества железа и кислорода в составе оксида:

$$v(\text{Fe}) = m(\text{Fe})/M(\text{Fe}); v(\text{Fe}) = 33,6/56 = 0,6 \text{ моль};$$

$$v(\text{O}) = m(\text{O})/M(\text{O}); v(\text{O}) = 12,8/16 = 0,8 \text{ моль}.$$

Находим отношение количества железа к количеству кислорода:

$$v(\text{Fe}) : v(\text{O}) = 0,6 : 0,8 = 3 : 4.$$

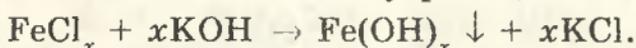
Значит, формула оксида железа имеет вид  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .

**13.47.** На растворение оксида железа массой 16 г было затрачено 21,9 г соляной кислоты. Определите формулу оксида железа.

Ответ:  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

13.48. К раствору хлорида железа, содержащего 12,7 г соли, прибавили избыток гидроксида калия. Выпал осадок массой 9 г. Определите валентность железа в хлориде.

**Решение.** Составляем схему реакции:



Принимаем валентность железа, равную  $x$ .

Выражаем количества хлорида и гидроксида железа:

$$v(\text{FeCl}_x) = m(\text{FeCl}_x)/M(\text{FeCl}_x);$$

$$v(\text{FeCl}_x) = 12,7/(56 + 35,5x);$$

$$v(\text{Fe}(\text{OH})_x) = m(\text{Fe}(\text{OH})_x)/M(\text{Fe}(\text{OH})_x);$$

$$v(\text{Fe}(\text{OH})_x) = 9/(56 + 17x).$$

Согласно уравнению реакции

$$v(\text{FeCl}_x) = v(\text{Fe}(\text{OH})_x).$$

Подставляем в уравнение числовые значения количества хлорида и гидроксида железа:

$$12,7/(56 + 35,5x) = 9/(56 + 17x).$$

Решаем уравнение:  $x$ (валентность Fe) = 2.

13.49. Образец, содержащий Fe и FeO, взаимодействует с 3,36 л (н.у.)  $\text{Cl}_2$ . На растворение такого же образца затрачен раствор соляной кислоты, содержащий 14,6 г HCl. Определите массу FeO в образце.

Ответ: 7,2 г.

13.50. При растворении 13,9 г кристаллогидрата  $\text{FeSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$  в воде массой 86,1 г массовая доля  $\text{FeSO}_4$  в растворе оказалась равной 0,076. Определите формулу кристаллогидрата.

**Решение.** Вычисляем массу раствора:

$$m(\text{р-ра}) = 13,9 + 86,1 = 100 \text{ г.}$$

Масса сульфата железа в составе кристаллогидрата равна массе сульфата железа в растворе:

$$m(\text{FeSO}_4) = \omega(\text{FeSO}_4) \cdot m(\text{р-ра});$$

$$m(\text{FeSO}_4) = 0,076 \cdot 100 = 7,6 \text{ г.}$$

Находим количество сульфата железа:

$$v(\text{FeSO}_4) = m(\text{FeSO}_4)/M(\text{FeSO}_4);$$

$$\nu(\text{FeSO}_4) = 7,6/152 = 0,05 \text{ моль.}$$

Из формулы кристаллогидрата следует, что

$$\nu(\text{FeSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}) = \nu(\text{FeSO}_4);$$

$$\nu(\text{FeSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}) = 0,05 \text{ моль.}$$

Определяем молярную массу кристаллогидрата:

$$M(\text{FeSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}) = m(\text{FeSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O})/\nu(\text{FeSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O});$$

$$M(\text{FeSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}) = 13,9/0,05 = 278 \text{ г/моль.}$$

Учитывая, что

$$M(\text{FeSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}) = M(\text{FeSO}_4) + xM(\text{H}_2\text{O}),$$

вычисляем  $x$ :

$$x = (M(\text{FeSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}) - M(\text{FeSO}_4))/M(\text{H}_2\text{O});$$

$$x = (278 - 152)/18 = 7.$$

Формула кристаллогидрата  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ .

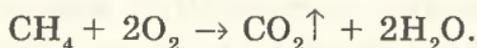
## ОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

## Глава 14. УГЛЕВОДОРОДЫ

## 14.1. АЛКАНЫ, ЦИКЛОАЛКАНЫ

14.1. Смесь, содержащую 2 л (н.у.)  $\text{CH}_4$  и 4 л (н.у.)  $\text{O}_2$ , подожгли. Определите относительную плотность образовавшейся газовой смеси по водороду. Температура газа  $120^\circ\text{C}$ , давление нормальное.

Решение. Записываем уравнение реакции:



Определяем количество метана и кислорода:

$$\nu(\text{CH}_4) = V(\text{CH}_4)/22,4 \text{ л/моль};$$

$$\nu(\text{CH}_4) = 2/22,4 = 0,0893 \text{ моль};$$

$$\nu(\text{O}_2) = V(\text{O}_2) = 22,4 \text{ л/моль};$$

$$\nu(\text{O}_2) = 4/22,4 = 0,1786 \text{ моль}.$$

Из уравнения реакции следует, что с 0,0893 моль метана прореагирует 0,1786 моль кислорода. Следовательно, исходные вещества прореагируют без остатка. Определяем количества воды и оксида углерода. Согласно уравнению реакции

$$\nu(\text{H}_2\text{O}) = 2\nu(\text{CH}_4); \nu(\text{H}_2\text{O}) = 2 \cdot 0,0893 = 0,1786 \text{ моль};$$

$$\nu(\text{CO}_2) = \nu(\text{CH}_4); \nu(\text{CO}_2) = 0,0893 \text{ моль}.$$

Рассчитываем массы оксида углерода и воды:

$$m(\text{CO}_2) = \nu(\text{CO}_2) \cdot M(\text{CO}_2);$$

$$m(\text{CO}_2) = 0,0893 \cdot 44 = 3,93 \text{ г};$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = \nu(\text{H}_2\text{O}) \cdot M(\text{H}_2\text{O});$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 0,1786 \cdot 18 = 3,21 \text{ г}.$$

При  $120^\circ\text{C}$  и нормальном давлении вода является газом. Вычисляем молярную массу газа:

$$M(\Gamma) = (m(\text{CO}_2) + m(\text{H}_2\text{O})) / (v(\text{CO}_2) + v(\text{H}_2\text{O}));$$

$$M(\Gamma) = (3,93 + 3,21) / (0,0893 + 0,1786) = 26,7 \text{ г/моль.}$$

Находим относительную плотность газа по водороду:

$$D = M(\Gamma) / M(\text{H}_2); D = 26,7 / 2 = 13,35.$$

**14.2.** Смесь, содержащую 2 л (н.у.)  $\text{C}_2\text{H}_6$  и 13,2 г кислорода, подожгли. Определите относительную плотность образовавшейся газовой смеси по водороду. Температура газа 120 °С, давление нормальное.

Ответ: 14,5.

**14.3.** Какой минимальный объем (н.у.) пропана (в литрах) нужно сжечь, чтобы, пропустив образовавшийся  $\text{CO}_2$  через 10 мл раствора  $\text{NaOH}$  с массовой долей гидроксида натрия 8 % и плотностью 1,09 г/мл, получить  $\text{NaHCO}_3$ .

**Решение.** Вычисляем массу раствора гидроксида натрия:

$$m(\text{р-ра}) = \rho(\text{р-ра}) \cdot V(\text{р-ра});$$

$$m(\text{р-ра}) = 1,09 \cdot 10 = 10,9 \text{ г.}$$

Рассчитываем массу гидроксида натрия:

$$m(\text{NaOH}) = (\omega(\text{NaOH}) \cdot m(\text{р-ра})) / 100 \% ;$$

$$m(\text{NaOH}) = (8 \cdot 10,9) / 100 = 0,872 \text{ г.}$$

Находим его количество:

$$v(\text{NaOH}) = m(\text{NaOH}) / M(\text{NaOH});$$

$$v(\text{NaOH}) = 0,872 / 40 = 0,0218 \text{ моль.}$$

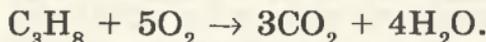
Оксид углерода реагирует с гидроксидом натрия с образованием гидрокарбоната натрия по уравнению



Определяем количество оксида углерода. Согласно уравнению реакции

$$v(\text{CO}_2) = v(\text{NaOH}); v(\text{NaOH}) = 0,0218 \text{ моль.}$$

Составляем уравнение горения пропана:



Рассчитываем количество пропана. Из уравнения реакции следует, что

$$v(\text{C}_3\text{H}_8) = (1/3)v(\text{CO}_2),$$

$$v(\text{C}_3\text{H}_8) = (1/3) \cdot 0,0218 = 0,00727 \text{ моль.}$$

Вычисляем объем пропана:

$$V(\text{C}_3\text{H}_8) = \nu(\text{C}_3\text{H}_8) \cdot 22,4 \text{ л/моль};$$

$$V(\text{C}_3\text{H}_8) = 0,00727 \cdot 22,4 = 0,163 \text{ л.}$$

14.4. Какой объем (н.у.) метана потребуется для получения 95,6 г трихлорметана, если его выход равен 75 %?

Ответ: 23,9 л.

14.5. Какую массу бутана можно получить при взаимодействии 5 г натрия и 21,8 г бромэтана, если его выход равен 70 %?

Ответ: 4,06 г.

14.6. Метан, полученный при действии воды на 16 г технического карбида алюминия, сожгли в избытке кислорода. Определите массу образовавшегося  $\text{CO}_2$ . Массовая доля  $\text{Al}_4\text{C}_3$  в составе технического карбида алюминия равна 90 %.

Ответ: 13,2 г.

14.7. Установите формулу углеводорода (X), содержащего 80 % углерода (по массе) и 20 % водорода (по массе). Относительная плотность углеводорода по водороду равна 15.

Решение. Вычисляем молярную массу углеводорода:

$$M(X) = M(\text{H}_2) \cdot D; M(X) = 2 \cdot 15 = 30 \text{ г/моль.}$$

Для расчетов выбираем образец углеводорода количеством вещества 1 моль. Его масса равна 30 г.

Рассчитываем массы углерода и водорода в составе углеводорода:

$$m(\text{C}) = (\omega(\text{C}) \cdot m(\text{образца}))/100 \%;$$

$$m(\text{C}) = (80 \cdot 30)/100 = 24 \text{ г};$$

$$m(\text{H}) = (\omega(\text{H}) \cdot m(\text{образца}))/100 \%;$$

$$m(\text{H}) = (20 \cdot 30)/100 = 6 \text{ г.}$$

Находим количества углерода и водорода в составе углеводорода:

$$\nu(\text{C}) = m(\text{C})/M(\text{C}); \nu(\text{C}) = 24/12 = 2 \text{ моль};$$

$$\nu(\text{H}) = m(\text{H})/M(\text{H}); \nu(\text{H}) = 6/1 = 6 \text{ моль.}$$

Таким образом, в состав 1 моль углеводорода входят 2 моль атомов углерода и 6 моль атомов водорода.

Следовательно, его формула имеет вид  $C_2H_6$ .

14.8. Установите формулу углеводорода (X), содержащего 82,76 % углерода (по массе) и 17,24 % водорода (по массе). Относительная плотность углеводорода по кислороду равна 1,8125.

Ответ:  $C_4H_{10}$ .

14.9. При сжигании соединения X массой 3,2 г образовалось 7,2 г воды и 4,48 л  $CO_2$  (н.у.). Относительная плотность паров этого вещества по водороду равна 8. Определите формулу вещества.

**Решение.** Рассчитываем молярную массу соединения X:

$$M(X) = M(H_2) \cdot D; M(X) = 2 \cdot 8 = 16 \text{ г/моль.}$$

Вычисляем количество воды:

$$\nu(H_2O) = m(H_2O)/M(H_2O); \nu(H_2O) = 7,2/18 = 0,4 \text{ моль.}$$

Из формулы воды  $H_2O$  следует, что

$$\nu(H) = 2\nu(H_2O); \nu(H) = 2 \cdot 0,4 = 0,8 \text{ моль.}$$

Находим массу водорода в составе воды:

$$m(H) = \nu(H) \cdot M(H); m(H) = 0,8 \cdot 1 = 0,8 \text{ г.}$$

Вычисляем количество оксида углерода:

$$\begin{aligned} \nu(CO_2) &= V(CO_2)/22,4 \text{ л/моль;} \\ \nu(CO_2) &= 4,48/22,4 = 0,2 \text{ моль.} \end{aligned}$$

Из формулы оксида углерода  $CO_2$  следует, что

$$\nu(C) = \nu(CO_2); \nu(C) = 0,2 \text{ моль.}$$

Рассчитываем массу углерода в составе оксида углерода:

$$m(C) = \nu(C) \cdot M(C); m(C) = 0,2 \cdot 12 = 2,4 \text{ г.}$$

В состав неизвестного соединения кроме углерода и водорода может входить кислород, так как он обнаруживается в продуктах его горения. Определяем наличие или отсутствие кислорода в соединении X. Для этого находим суммарную массу водорода и углерода в составе соединения:

$$m(H) + m(C) = 0,8 + 2,4 = 3,2 \text{ г.}$$

Из условия известно, что масса соединения также равна 3,2 г. Следовательно, кислород в состав X не входит. Определяем формулу соединения X. Для этого

находим соотношение количеств водорода и углерода в его составе:

$$v(\text{H}) : v(\text{C}) = 0,8 : 0,2 = 4 : 1.$$

Тогда простейшая формула будет иметь вид  $\text{CH}_4$ . Молярная масса  $\text{CH}_4$  равна 16 г/моль. Нами рассчитано, что и молярная масса соединения X также равна 16 г/моль. Следовательно, истинная формула X идентична простейшей  $\text{CH}_4$ .

**14.10.** При сжигании соединения X массой 8,6 г образовалось 12,6 г воды и 13,44 л  $\text{CO}_2$  (н.у). Плотность паров этого вещества по метану равна 5,375. Определите формулу вещества.

Ответ:  $\text{C}_6\text{H}_{14}$ .

**14.11.** Относительная плотность алкана по водороду равна 22. Определите формулу алкана.

**Решение.** Рассчитываем молярную массу алкана:

$$M(\text{C}_n\text{H}_{2n+2}) = M(\text{H}_2) \cdot D;$$

$$M(\text{C}_n\text{H}_{2n+2}) = 2 \cdot 22 = 44 \text{ г/моль.}$$

Учитывая, что

$$M(\text{C}_n\text{H}_{2n+2}) = nM(\text{C}) + (2n + 2)M(\text{H}),$$

рассчитываем  $n$ , подставив в уравнение значения молярных масс углерода и водорода:

$$44 = 12n + 2n + 2;$$

$$n = 3.$$

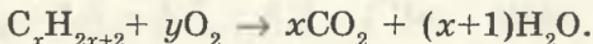
Следовательно, формула алкана —  $\text{C}_3\text{H}_8$ .

**14.12.** Плотность паров алкана по водороду равна 29. Определите формулу алкана.

Ответ:  $\text{C}_4\text{H}_{10}$ .

**14.13.** На сгорание 2 л алкана потребовалось 10 л кислорода. Объемы газов приведены к нормальным условиям. Определите формулу алкана.

**Решение.** Записываем уравнение реакции

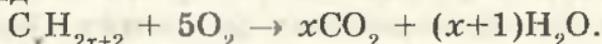


Определяем количество кислорода, необходимое для сгорания 1 моль алкана, учитывая, что количества газообразных веществ соотносятся как их объемы:

$$v(\text{O}_2)/v(\text{C}_x\text{H}_{2x+2}) = V(\text{O}_2)/V(\text{C}_x\text{H}_{2x+2});$$

$$v(\text{O}_2)/v(\text{C}_x\text{H}_{2x+2}) = 10/2 = 5/1.$$

Таким образом, на сгорание 1 моль алкана потребуется 5 моль кислорода. Тогда уравнение реакции примет вид



Определяем формулу алкана. Для этого находим количество атомов кислорода в левой и правой частях уравнения:

$$v(\text{O})_{\text{лев}} = 2 \cdot 5 = 10 \text{ моль};$$

$$v(\text{O})_{\text{прав}} = 2x + x + 1 = 3x + 1 \text{ моль}.$$

Количества кислорода в левой и правых частях уравнения реакции равны:

$$v(\text{O})_{\text{лев}} = v(\text{O})_{\text{прав}}.$$

Подставляем в уравнение значения количеств кислорода:

$$10 = 3x + 1,$$

откуда  $x = 3$ .

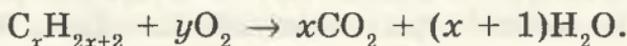
Таким образом, формула алкана имеет вид  $\text{C}_3\text{H}_8$ .

**14.14.** На сгорание 1 л алкана потребовалось 6,5 л кислорода. Объемы газов приведены к нормальным условиям. Определите формулу алкана.

Ответ:  $\text{C}_4\text{H}_{10}$ .

**14.15.** При сгорании 1 л газообразного алкана образовалось 3 л оксида углерода (IV). Объемы измерены при одинаковых условиях. Определите формулу алкана.

**Решение.** Записываем уравнение реакции:

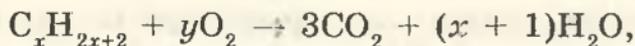


Определяем количество оксида углерода (IV), образующегося при сгорании 1 моль алкана:

$$v(\text{CO}_2)/v(\text{C}_x\text{H}_{2x+2}) = V(\text{CO}_2)/V(\text{C}_x\text{H}_{2x+2});$$

$$v(\text{CO}_2)/v(\text{C}_x\text{H}_{2x+2}) = 3/1.$$

Следовательно, при сгорании 1 моль алкана образуется 3 моль оксида. Расставим коэффициенты перед оксидом углерода и алканом:



откуда  $x = 3$ .

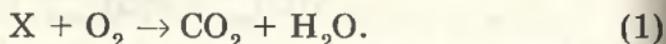
Следовательно, формула алкана —  $C_3H_8$ .

**14.16.** При сгорании 1 л газообразного алкана образовалось 5 л оксида углерода (IV). Объемы измерены при одинаковых условиях. Определите формулу алкана.

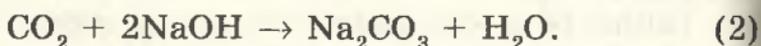
Ответ:  $C_5H_{12}$ .

**14.17.** Алкан сожгли в избытке кислорода. Продукты реакции пропустили через избыток раствора гидроксида натрия массой 99,2 г. В результате масса раствора стала равной 100 г, а массовая доля образовавшегося карбоната натрия в растворе составила 1,06 %. Определите формулу алкана.

**Решение.** Составляем схему горения алкана:



Выделившийся в результате реакции оксид углерода реагирует с гидроксидом натрия с образованием карбоната натрия:



Находим массу карбоната натрия:

$$m(Na_2CO_3) = \omega(Na_2CO_3) \cdot m(p-pa)/100 \%;$$

$$m(Na_2CO_3) = (1,06 \cdot 100)/100 = 1,06 \text{ г.}$$

Вычисляем его количество:

$$v(Na_2CO_3) = m(Na_2CO_3)/M(Na_2CO_3);$$

$$v(Na_2CO_3) = 1,06/106 = 0,01 \text{ моль.}$$

Рассчитываем количество оксида углерода, образовавшегося при горении алкана. Согласно уравнению реакции (2)

$$v(CO_2) = v(Na_2CO_3); v(CO_2) = 0,01 \text{ моль.}$$

Определяем массу оксида:

$$m(CO_2) = v(CO_2) \cdot M(CO_2);$$

$$m(CO_2) = 0,01 \cdot 44 = 0,44 \text{ г.}$$

Находим массу воды, образовавшейся при горении алкана:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = m_{\text{к}}(\text{p-ра}) - m_{\text{исх}}(\text{p-ра}) - m(\text{CO}_2);$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 100 - 99,2 - 0,44 = 0,36 \text{ г.}$$

Вычисляем ее количество:

$$\nu(\text{H}_2\text{O}) = m(\text{H}_2\text{O})/M(\text{H}_2\text{O});$$

$$\nu(\text{H}_2\text{O}) = 0,36/18 = 0,02 \text{ моль.}$$

Рассчитываем количества атомов углерода и водорода в составе продуктов реакции. Из формулы воды  $\text{H}_2\text{O}$  следует, что

$$\nu(\text{H}) = 2\nu(\text{H}_2\text{O}); \nu(\text{H}) = 2 \cdot 0,02 = 0,04 \text{ моль.}$$

Из формулы оксида углерода  $\text{CO}_2$  следует, что

$$\nu(\text{C}) = \nu(\text{CO}_2); \nu(\text{C}) = 0,01 \text{ моль.}$$

Определяем соотношение количеств углерода и водорода:

$$\nu(\text{C}) : \nu(\text{H}) = 0,01 : 0,04 = 1 : 4.$$

Из общей формулы алканов  $\text{C}_x\text{H}_{2x+2}$  следует, что

$$\nu(\text{C})/\nu(\text{H}) = x/(2x+2); x/(2x+2) = 1/4,$$

откуда  $x = 1$ .

Следовательно, формула алкана будет иметь вид  $\text{CH}_4$ .

**14.18.** Алкан сожгли в избытке кислорода. Продукты реакции пропустили через избыток раствора гидроксида натрия массой 98,58 г. В результате масса раствора увеличилась на 1,42 г и массовая доля образовавшегося карбоната натрия в растворе составила 2,12 %. Определите формулу алкана.

Ответ:  $\text{C}_2\text{H}_6$ .

**14.19.** Масса 1 л газообразного соединения X при н.у. равна 1,34 г, а массовая доля водорода в его составе — 0,2. При сгорании 3 г этого вещества образуется 4,48 л  $\text{CO}_2$  (н.у.). Определите формулу соединения X.

**Решение.** Определяем молярную массу соединения X. Для этого находим массу 1 моль (22,4 л) вещества.

Составляем пропорцию:

$$1 \text{ л соединения X имеет массу } 1,34 \text{ г,}$$

$$22,4 \text{ л} \quad \quad \quad \gg \quad \quad \quad \gg \quad \quad \quad x \text{ г,}$$

$$x = (1,34 \cdot 22,4)/1 = 30 \text{ г.}$$

Таким образом, молярная масса соединения X равна 30 г/моль. Определяем массу водорода в составе 1 моль вещества X:

$$m(\text{H}) = m(\text{X}) \cdot \omega(\text{H}); m(\text{H}) = 30 \cdot 0,2 = 6 \text{ г.}$$

Рассчитываем его количество:

$$\nu(\text{H}) = m(\text{H})/M(\text{H}); \nu(\text{H}) = 6/1 = 6 \text{ моль.}$$

Следовательно, в состав 1 моль X входят 6 моль атомов водорода. Находим количество соединения X, подвергшегося горению:

$$\nu(\text{X}) = m(\text{X})/M(\text{X}); \nu(\text{X}) = 3/30 = 0,1 \text{ моль.}$$

Рассчитываем количество оксида углерода (IV), образовавшегося в результате горения X:

$$\nu(\text{CO}_2) = V(\text{CO}_2)/22,4 \text{ л/моль;}$$

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

Количество углерода в составе X равно количеству образовавшегося оксида углерода. Следовательно, в состав 0,1 моль X входит 0,2 моль атомов углерода, а это значит, что в состав 1 моль X входит 2 моль атомов углерода.

Кроме углерода и водорода в состав X может входить кислород. Определяем его наличие. В состав 3 г соединения X входит 0,2 моль углерода. Рассчитываем его массу:

$$m(\text{C}) = \nu(\text{C}) \cdot M(\text{C}); m(\text{C}) = 0,2 \cdot 12 = 2,4 \text{ г.}$$

Массовая доля водорода в соединении X равна 0,2. Находим его массу:

$$m_1(\text{H}) = \omega(\text{H}) \cdot m(\text{X}); m_1(\text{H}) = 0,2 \cdot 3 = 0,6 \text{ г.}$$

Вычисляем суммарную массу водорода и углерода в соединении X:

$$m_1(\text{H}) + m(\text{C}) = 0,6 + 2,4 = 3 \text{ г.}$$

Согласно условию масса соединения X также равна 3 г. Следовательно, кислород в его состав не входит. Поскольку в состав 1 моль X входят 2 моль атомов углерода и 6 моль атомов водорода, формула соединения будет иметь вид  $\text{C}_2\text{H}_6$ .

**14.20.** Масса 1 л газообразного соединения X при н.у. равна 2,59 г, а массовая доля водорода в его составе — 0,1724. При сгорании 5,8 г этого вещества образуется 8,96 л  $\text{CO}_2$  (н.у.). Определите формулу соединения X.

Ответ:  $\text{C}_4\text{H}_{10}$ .

**14.21.** Массовая доля хлора в составе монохлорпроизводного алкана равна 0,5504. Определите формулу монохлорпроизводного алкана.

**Решение.** Для расчетов выбираем образец производного алкана массой 100 г.

Вычисляем массу хлора в его составе:

$$m(\text{Cl}) = \omega(\text{Cl}) \cdot m(\text{образец});$$
$$m(\text{Cl}) = 0,5504 \cdot 100 = 55,04 \text{ г.}$$

Находим количество хлора:

$$\nu(\text{Cl}) = m(\text{Cl})/M(\text{Cl}); \nu(\text{Cl}) = 55,04/35,5 = 1,55 \text{ моль.}$$

Из формулы хлорпроизводного алкана  $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{Cl}$  следует, что

$$\nu(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{Cl}) = \nu(\text{Cl}); \nu(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{Cl}) = 1,55 \text{ моль.}$$

Определяем молярную массу монохлорпроизводного алкана:

$$M(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{Cl}) = m(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{Cl})/\nu(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{Cl});$$

$$M(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{Cl}) = 100/1,55 = 64,5 \text{ моль.}$$

По уравнению

$$M(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{Cl}) = nM(\text{C}) + (2n + 1)M(\text{H}) + M(\text{Cl})$$

рассчитываем  $n$ , подставив в него значения молярных масс:

$$64,5 = 12n + 2n + 1 + 35,5; n = 2.$$

Значит, формула производного алкана  $\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}$ .

**14.22.** Массовая доля хлора в составе дихлорпроизводного алкана равна 0,7171. Определите формулу дихлорпроизводного алкана.

Ответ:  $\text{C}_2\text{H}_4\text{Cl}_2$ .

**14.23.** Алкан массой 4,4 г прореагировал с 7,1 г хлора с образованием монохлорпроизводного алкана. Определите формулу алкана.

**Решение.** Записываем уравнение реакции:



Рассчитываем количество хлора, вступившего в реакцию:

$$\nu(\text{Cl}_2) = m(\text{Cl}_2)/M(\text{Cl}_2); \nu(\text{Cl}_2) = 7,1/71 = 0,1 \text{ моль.}$$

Согласно уравнению реакции

$$\nu(\text{C}_n\text{H}_{2n+2}) = \nu(\text{Cl}_2); \nu(\text{C}_n\text{H}_{2n+2}) = 0,1 \text{ моль.}$$

Определяем молярную массу алкана:

$$M(C_n H_{2n+2}) = m(C_n H_{2n+2}) / M(C_n H_{2n+2});$$

$$M(C_n H_{2n+2}) = 4,4 / 0,1 = 44 \text{ г/моль.}$$

Подставив в уравнение

$$M(C_n H_{2n+2}) = nM(C) + (2n + 2)M(H)$$

значение молярных масс, вычисляем

$$44 = 12n + 2n + 2; n = 3.$$

Значит, формула алкана —  $C_3H_8$ .

**14.24.** Алкан массой 7,2 г прореагировал с 14,2 г хлора с образованием дихлорпроизводного алкана. Определите формулу алкана.

Ответ:  $C_5H_{12}$ .

**14.25.** Установите формулу алкана (X). Массовая доля углерода в его составе равна 80 %.

**Решение.** Для расчетов выбираем образец алкана массой 100 г. Рассчитываем массу углерода в составе образца:

$$m(C) = (\omega(C) \cdot m(\text{образца})) / 100 \%;$$

$$m(C) = (80 \cdot 100) / 100 = 80 \text{ г.}$$

Вычисляем его количество:

$$\nu(C) = m(C) / M(C); \nu(C) = 80 / 12 = 6,667 \text{ моль.}$$

Выражаем количество алкана:

$$\nu(C_n H_{2n+2}) = m(C_n H_{2n+2}) / M(C_n H_{2n+2});$$

$$\nu(C_n H_{2n+2}) = 100 / (12n + 2n + 2).$$

Из общей формулы алканов  $C_n H_{2n+2}$  следует, что

$$\nu(C_n H_{2n+2}) = (1/n)\nu(C).$$

В уравнение подставляем значение количеств алкана и углерода:

$$100 / (12n + 2n + 2) = (1/n)6,667,$$

откуда  $n = 2$ .

Следовательно, формула алкана —  $C_2H_6$ .

**14.26.** Установите формулу алкана X, содержащего 83,33 % углерода (по массе).

Ответ:  $C_5H_{12}$ .

**14.27.** Отношение количества углерода к количеству водорода в составе смеси, состоящей из двух алканов,

равно 2:5. Отношение числа атомов углерода в составе первого алкана к числу атомов углерода в составе второго алкана равно 3:5. Отношение количества первого алкана к количеству второго алкана в смеси равно 1:1. Определите формулу первого алкана.

**Решение.** Пусть  $C_xH_{2x+2}$  — формула первого алкана,  $C_yH_{2y+2}$  — формула второго алкана. Выбираем образец смеси количеством вещества, равным 2 моль. Согласно условию количества алканов равны, т.е.

$$v(C_xH_{2x+2}) = 1 \text{ моль}; v(C_yH_{2y+2}) = 1 \text{ моль}.$$

Тогда в составе первого алкана количество углерода равно  $x$ , количество водорода —  $(2x+2)$ ; в составе второго алкана количество углерода —  $y$ , количество водорода —  $(2y+2)$ .

Количества атомов углерода и водорода в смеси соответственно равны сумме атомов углерода и водорода в составе каждого из алканов:

$$v(C) = x + y; v(H) = 2x + 2 + 2y + 2 = 2x + 2y + 4.$$

В условии сказано, что отношение количества углерода к количеству водорода в составе смеси, состоящей из двух алканов, равно 2:5, а это значит, что

$$(x + y)/(2x + 2y + 4) = 2/5. \quad (1)$$

По условию отношение числа атомов углерода в составе первого алкана к числу атомов углерода в составе второго алкана равно 3:5:

$$x/y = 3/5. \quad (2)$$

Преобразовываем уравнения (1) и (2) и составляем из них систему уравнений:

$$\begin{cases} 5(x + y) = 2(2x + 2y + 4), \\ 5x = 3y. \end{cases}$$

Решаем систему уравнений:

$$x = 3; y = 5.$$

Следовательно, формула первого алкана  $C_3H_8$ .

**14.28.** Отношение количества углерода к количеству водорода в составе смеси, состоящей из двух алканов, равно 7:17. Отношение числа атомов углерода в составе первого алкана к числу атомов углерода в составе второго алкана равно 2:3, а отношение количества первого алкана к количеству второго алкана в смеси — 2:1. Определите формулу первого алкана.

Ответ:  $C_4H_{10}$ .

14.29. Циклоалкан массой 5,6 г сожгли. Образовавшийся  $\text{CO}_2$  пропустили через избыток известковой воды (раствор  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ). Определите массу образовавшегося осадка.

Ответ: 40 г.

14.30. Циклоалкан массой 1,4 г сожгли. Образовавшийся  $\text{CO}_2$  пропустили через 100 г раствора  $\text{NaOH}$  с массовой долей гидроксида натрия 8 % (плотность раствора 1,09 г/мл). Определите массовую долю (в процентах)  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  в конечном растворе.

Ответ: 10,2 %.

14.31. При сгорании 10 г смеси циклобутана и пропана образовалось 30,8 г  $\text{CO}_2$ . Определите массу циклобутана в смеси.

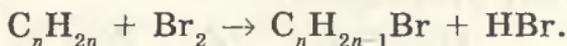
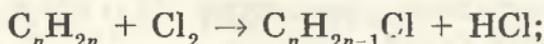
Ответ: 5,6 г.

14.32. Какую массу циклобутана можно получить при взаимодействии 5 г натрия и 21,6 г 1,4-дибромбутана, если его выход равен 70 %.

Ответ: 3,92 г.

14.33. Циклоалкан прореагировал с хлором с образованием монохлорциклоалкана массой 9,05 г. Такое же количество данного циклоалкана прореагировало с бромом с образованием монобромциклоалкана массой 13,5 г. Определите формулу циклоалкана.

**Решение.** Составляем уравнения реакций:



Сначала выражаем молярные массы монохлорциклоалкана и монобромциклоалкана:

$$M(\text{C}_n\text{H}_{2n-1}\text{Cl}) = nM(\text{C}) + (2n - 1)M(\text{H}) + M(\text{Cl});$$

$$M(\text{C}_n\text{H}_{2n-1}\text{Cl}) = 12n + 2n - 1 + 35,5 = 14n + 34,5;$$

$$M(\text{C}_n\text{H}_{2n-1}\text{Br}) = nM(\text{C}) + (2n - 1)M(\text{H}) + M(\text{Br});$$

$$M(\text{C}_n\text{H}_{2n-1}\text{Br}) = 12n + 2n - 1 + 80 = 14n + 79.$$

Затем выражаем их количества:

$$v(\text{C}_n\text{H}_{2n-1}\text{Cl}) = m(\text{C}_n\text{H}_{2n-1}\text{Cl})/M(\text{C}_n\text{H}_{2n-1}\text{Cl});$$

$$v(\text{C}_n\text{H}_{2n-1}\text{Cl}) = 9,05/(14n + 34,5);$$

$$v(\text{C}_n\text{H}_{2n-1}\text{Br}) = m(\text{C}_n\text{H}_{2n-1}\text{Br})/M(\text{C}_n\text{H}_{2n-1}\text{Br});$$

$$v(\text{C}_n\text{H}_{2n-1}\text{Br}) = 13,5/(14n + 79).$$

Так как количество циклоалкана, вступившего в реакцию с хлором, равно количеству циклоалкана, вступившего в реакцию с бромом, количества моноклорциклоалкана и монобромциклоалкана также равны

$$v(\text{C}_n\text{H}_{2n-1}\text{Cl}) = v(\text{C}_n\text{H}_{2n-1}\text{Br});$$

$$9,05/(14n + 34,5) = 13,5/(14n + 79),$$

откуда  $n = 4$ .

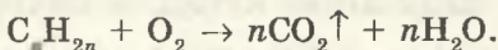
Следовательно, формула циклоалкана —  $\text{C}_4\text{H}_8$ .

**14.34.** Циклоалкан прореагировал с хлором с образованием дихлорциклоалкана массой 12,5. Такое же количество данного циклоалкана прореагировало с бромом с образованием дибромциклоалкана массой 21,4 г. Определите формулу циклоалкана.

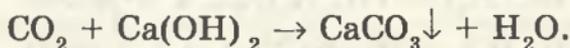
Ответ:  $\text{C}_4\text{H}_8$ .

**14.35.**  $\text{CO}_2$ , образовавшийся при сгорании 0,1 моль циклоалкана, пропустили через избыток раствора  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . В результате реакции образовалось 40 г осадка. Определите формулу циклоалкана.

**Решение.** В результате горения циклоалкана образуются оксид углерода (IV) и вода:



При пропускании оксида углерода через раствор гидроксида кальция выпадает осадок карбоната кальция:



Рассчитываем количество карбоната кальция:

$$v(\text{CaCO}_3) = m(\text{CaCO}_3)/M(\text{CaCO}_3);$$

$$v(\text{CaCO}_3) = 40/100 = 0,4 \text{ моль}.$$

Определяем количество оксида углерода, образовавшегося при горении циклоалкана. Согласно уравнению реакции

$$v(\text{CO}_2) = v(\text{CaCO}_3); v(\text{CO}_2) = 0,4 \text{ моль}.$$

Из общей формулы циклоалканов  $\text{C}_n\text{H}_{2n}$  следует, что

$$v(\text{C}) = nv(\text{C}_n\text{H}_{2n}).$$

Подставляем в уравнение значение количеств циклоалкана и углерода:

$$0,4 = n \cdot 0,1.$$

Решаем уравнение:  $n = 4$ .

Таким образом, формула алкана —  $C_4H_8$ .

14.36.  $CO_2$ , образовавшийся при сгорании 2,24 л (н.у.) циклоалкана, пропустили через избыток раствора  $Ca(OH)_2$ . В результате реакции образовалось 60 г осадка. Определите формулу циклоалкана.

Ответ:  $C_8H_{12}$ .

14.37. Какой минимальный объем воздуха нужно взять для сгорания 44,8 л (н.у.) смеси метана и циклобутана? Объемная доля метана в смеси равна 0,4. Объем воздуха рассчитайте при давлении 110 кПа и температуре 27 °С. Объемная доля кислорода в воздухе равна 0,21.

**Решение.** Рассчитываем объемы метана и циклобутана в смеси:

$$V(CH_4) = \varphi(CH_4) \cdot V(\text{смеси});$$

$$V(CH_4) = 0,4 \cdot 44,8 = 17,92 \text{ л};$$

$$V(C_4H_8) = V(\text{смеси}) - V(CH_4);$$

$$V(C_4H_8) = 44,8 - 17,92 = 26,88 \text{ л}.$$

Вычислим количества метана и циклобутана:

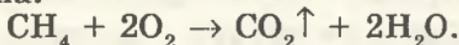
$$\nu(CH_4) = V(CH_4)/22,4 \text{ л/моль};$$

$$\nu(CH_4) = 17,92/22,4 = 0,8 \text{ моль};$$

$$\nu(C_4H_8) = V(C_4H_8)/22,4 \text{ л/моль};$$

$$\nu(C_4H_8) = 26,88/22,4 = 1,2 \text{ моль}.$$

Определяем количество кислорода, затраченного на горение метана:



Согласно уравнению реакции

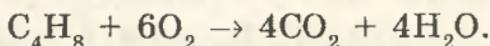
$$\nu_1(O_2) = 2\nu(CH_4); \nu_1(O_2) = 2 \cdot 0,8 = 1,6 \text{ моль}.$$

Находим его объем:

$$V_1(O_2) = \nu_1(O_2) \cdot 22,4 \text{ л/моль};$$

$$V_1(O_2) = 1,6 \cdot 22,4 = 36 \text{ л}.$$

Определяем количество кислорода, затраченного на горение циклобутана:



Согласно уравнению реакции

$$v_2(\text{O}_2) = 6v(\text{C}_4\text{H}_8); v_2(\text{O}_2) = 6 \cdot 1,2 = 7,2 \text{ моль}.$$

Находим его объем:

$$V_2(\text{O}_2) = v_2(\text{O}_2) \cdot 22,4 \text{ л/моль};$$

$$V_2(\text{O}_2) = 7,2 \cdot 22,4 = 161 \text{ л}.$$

Объем кислорода, затраченного на горение смеси, равен сумме объемов кислорода, израсходованных на горение метана и циклобутана:

$$V(\text{O}_2) = V_1(\text{O}_2) + V_2(\text{O}_2); V(\text{O}_2) = 36 + 161 = 197 \text{ л}.$$

Вычисляем объем воздуха при н.у.:

$$V_0(\text{воздуха}) = V(\text{O}_2)/\varphi(\text{воздуха});$$

$$V_0(\text{воздуха}) = 197/0,21 = 938 \text{ л}.$$

Рассчитываем объем воздуха при заданных условиях, учитывая, что  $T = (27 + 273)\text{K} = 300 \text{ K}$ :

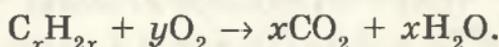
$$V(\text{воздуха}) = P_0 V_0 T / P \cdot T_0;$$

$$V(\text{воздуха}) = (101,3 \cdot 938 \cdot 300) / (110 \cdot 273) = 949 \text{ л}.$$

## 14.2. АЛКЕНЫ И АЛКАДИЕНЫ

**14.38.** Алкен X сожгли в избытке кислорода. Объем продуктов реакции в 4 раза больше объема газообразного алкена. Все объемы измерены при 200 °С и нормальном давлении. Определите формулу алкена.

**Решение.** Записываем схему реакции:



Из уравнения реакции следует, что

$$v(\text{CO}_2) = v(\text{H}_2\text{O}).$$

В указанных условиях вода находится в газообразном состоянии, поэтому ее объем равен объему оксида углерода:

$$V(\text{H}_2\text{O}) = V(\text{CO}_2).$$

Согласно условию задачи суммарный объем оксида углерода и воды в 4 раза больше объема алкена:

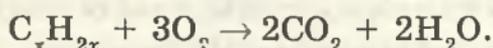
$$(V(\text{CO}_2) + V(\text{H}_2\text{O}))/V(\text{C}_x\text{H}_{2x}) = 4/1 = (2 + 2)/1.$$

Отношение количества продуктов реакции к количеству алкена равно отношению объемов продуктов реакции к объему алкена:

$$\begin{aligned}v(\text{CO}_2) + v(\text{H}_2\text{O})/v(\text{C}_x\text{H}_{2x}) &= (V(\text{CO}_2) + V(\text{H}_2\text{O}))/V(\text{C}_x\text{H}_{2x}); \\v(\text{CO}_2) + v(\text{H}_2\text{O})/v(\text{C}_x\text{H}_{2x}) &= (2 + 2)/1.\end{aligned}$$

Таким образом, при сгорании 1 моль алкена образуются 2 моль воды и 2 моль оксида углерода (IV).

Определяем формулу алкена. Для этого в уравнении реакции расставляем найденные коэффициенты:



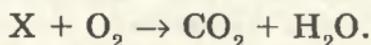
Из уравнения следует, что  $x$  равно 2. Значит, формула алкена  $\text{C}_2\text{H}_4$ .

**14.39.** Алкен (X) сожгли в избытке кислорода. Объем продуктов реакции в 8 раз больше объема газообразного алкена. Все объемы измерены при  $180^\circ\text{C}$  и нормальном давлении. Определите формулу алкена.

Ответ:  $\text{C}_4\text{H}_8$ .

**14.40.** При сжигании газообразного соединения X объемом 2,24 л (н.у.) получили 4,48 л (н.у.) оксида углерода (IV) и воду массой 3,6 г. На горение было затрачено 6,72 л кислорода. Определите формулу вещества.

**Решение.** Записываем схему реакции



Находим количество соединения X:

$$\begin{aligned}v(\text{X}) &= V(\text{X})/22,4 \text{ л/моль}; \\v(\text{X}) &= 2,24/22,4 = 0,1 \text{ моль}.\end{aligned}$$

Количества водорода и углерода в составе продуктов реакции равны количествам этих элементов в составе 0,1 моль соединения X. Далее определяем их количества.

Вычисляем количество воды:

$$\begin{aligned}v(\text{H}_2\text{O}) &= m(\text{H}_2\text{O})/M(\text{H}_2\text{O}); \\v(\text{H}_2\text{O}) &= 3,6/18 = 0,2 \text{ моль}.\end{aligned}$$

Из формулы воды  $H_2O$  следует, что

$$v(H) = 2v(H_2O); v(H) = 2 \cdot 0,2 = 0,4 \text{ моль.}$$

Следовательно, в составе 0,1 моль соединения X содержится 0,4 моль водорода.

Рассчитываем количество оксида углерода:

$$v(CO_2) = V(CO_2)/22,4 \text{ л/моль;}$$

$$v(CO_2) = 4,48/22,4 = 0,2 \text{ моль.}$$

Из формулы оксида углерода  $CO_2$  следует, что

$$v(C) = v(CO_2); v(C) = 0,2 \text{ моль.}$$

Таким образом, в состав 0,1 моль соединения X входит 0,2 моль углерода.

Кроме водорода и углерода в состав соединения X может входить кислород, так как он обнаруживается в составе продуктов реакции. Определяем его наличие или отсутствие в соединении. Для этого рассчитываем суммарное количество атомарного кислорода в продуктах. Количество кислорода в составе воды равно количеству воды, а количество кислорода в составе оксида углерода в 2 раза больше количества  $CO_2$ :

$$v_1(O) = v(H_2O) + 2v(CO_2);$$

$$v_1(O) = 0,2 + 2 \cdot 0,2 = 0,6 \text{ моль.}$$

Затем рассчитываем количество атомарного кислорода, вступившего в реакцию, определив предварительно количество молекулярного кислорода:

$$v(O_2) = V(O_2)/22,4 \text{ л/моль;}$$

$$v(O_2) = 6,72/22,4 = 0,3 \text{ моль.}$$

Количество атомарного кислорода в 2 раза больше количества молекулярного кислорода:

$$v_2(O) = 2v(O_2); v_2(O) = 2 \cdot 0,3 = 0,6 \text{ моль.}$$

Поскольку  $v_1(O) = v_2(O)$ , кислород в состав X не входит.

Определяем формулу соединения X. Для этого сначала рассчитываем количество водорода в составе 1 моль X:

0,1 моль X содержит 0,4 моль H,

1 моль                   »           n моль,

$$n = 4 \text{ моль.}$$

Таким образом, 1 моль X содержит 4 моль атомов водорода. Затем рассчитываем количество углерода в составе 1 моль X:

0,1 моль X содержит 0,2 моль C,

1 моль » »  $m$  моль,

$$m = 2 \text{ моль.}$$

Следовательно, 1 моль X содержит 2 моль углерода.

Поскольку 1 моль соединения X содержит 2 моль углерода и 4 моль водорода, его формула имеет вид  $C_2H_4$ .

14.41. При сжигании газообразного соединения X объемом 2,24 л (н.у.) получили 8,96 л (н.у.) оксида углерода (IV) и воду массой 7,2 г. На горение было затрачено 13,44 л кислорода. Определите формулу вещества.

Ответ:  $C_4H_8$ .

14.42. Два элемента A и B образуют соединения состава  $A_2B_6$  и  $A_2B_4$ . Относительная плотность паров первого соединения по водороду равна 15, а относительная плотность второго по кислороду — 0,875. Определите формулу соединения  $A_2B_4$ .

Решение. Рассчитываем молярные массы  $A_2B_4$  и  $A_2B_6$ :

$$M(A_2B_6) = M(H_2) \cdot D; M(A_2B_6) = 2 \cdot 15 = 30 \text{ г/моль};$$

$$M(A_2B_4) = M(O_2) \cdot D; M(A_2B_4) = 32 \cdot 0,875 = 28 \text{ г/моль.}$$

Учитывая, что

$$M(A_2B_6) = 2M(A) + 6M(B),$$

$$M(A_2B_4) = 2M(A) + 4M(B),$$

составляем систему уравнений:

$$\begin{cases} 30 = 2M(A) + 6M(B), \\ 28 = 2M(A) + 4M(B). \end{cases}$$

Решив систему уравнений, получим

$$M(A) = 12 \text{ г/моль};$$

$$M(B) = 1 \text{ г/моль.}$$

Следовательно, A — углерод, а B — водород. Тогда формула соединения  $A_2B_4$  имеет вид  $C_2H_4$ .

14.43. Два элемента A и B образуют соединения состава  $A_3B_8$  и  $A_3B_6$ . Относительная плотность паров первого соединения по водороду равна 22, а относительная плотность второго по кислороду — 1,313. Определите формулу соединения  $A_3B_6$ .

Ответ:  $C_3H_6$ .

14.44. Определите массовую долю (в процентах) углерода в составе алкенов.

Решение. Общая формула алкена  $C_nH_{2n}$ . Выражаем молярную массу алкена в общем виде:

$$M(C_nH_{2n}) = 12n + 2n = 14n.$$

Тогда масса 1 моль алкена будет иметь значение:

$$m(C_nH_{2n}) = \nu(C_nH_{2n}) \cdot M(C_nH_{2n}); m(C_nH_{2n}) = 14n.$$

В состав 1 моль алкена входит  $n$  моль углерода. Тогда масса углерода в составе 1 моль алкена будет равна:

$$m(C) = \nu(C) \cdot M(C); m(C) = 12n.$$

Рассчитываем массовую долю углерода в составе алкена:

$$\omega(C) = \frac{m(C)}{m(C_nH_{2n})} \cdot 100\%;$$

$$\omega(C) = \frac{12n}{14n} \cdot 100 = 86\%.$$

14.45. Алкен массой 2,8 г сожгли. Образовавшийся  $CO_2$  пропустили через избыток раствора  $Ba(OH)_2$ . Определите массу образовавшегося осадка.

Ответ: 39,4 г.

14.46. Какой минимальный объем (н.у.) пропена (в литрах) нужно пропустить через раствор бромной воды массой 80 г с массовой долей брома 4 %, чтобы ее обесцветить?

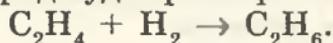
Ответ: 0,448 л.

14.47. Смесь этана и этена объемом 5,6 л (н.у.) обесцвечивает раствор бромной воды массой 1000 г с массовой долей брома 3,2 %. Определите массовую долю (в процентах) этена в исходной смеси.

Ответ: 79 %.

14.48. Смесь пропана и этена массой 14,4 г прореагировала с водородом. В результате реакции образовалась смесь алканов массой 14,8 г. Определите объемную долю (в процентах) этена в исходной смеси.

**Решение.** Водород будет реагировать только с этеном:



Определяем массу водорода, вступившего в реакцию. Согласно закону сохранения массы масса водорода равна разнице масс алканов и исходной смеси углеводородов:

$$m(\text{H}_2) = 14,8 - 14,4 = 0,4 \text{ г.}$$

Вычисляем количество водорода:

$$v(\text{H}_2) = m(\text{H}_2)/M(\text{H}_2); v(\text{H}_2) = 0,4/2 = 0,2 \text{ моль.}$$

Определяем количество этена в смеси. Согласно уравнению реакции:

$$v(\text{C}_2\text{H}_4) = v(\text{H}_2); v(\text{C}_2\text{H}_4) = 0,2 \text{ моль.}$$

Рассчитываем его объем:

$$V(\text{C}_2\text{H}_4) = v(\text{C}_2\text{H}_4) \cdot 22,4 \text{ л/моль};$$

$$V(\text{C}_2\text{H}_4) = 0,2 \cdot 22,4 = 4,48 \text{ л.}$$

Вычисляем массу этена:

$$m(\text{C}_2\text{H}_4) = v(\text{C}_2\text{H}_4) \cdot M(\text{C}_2\text{H}_4); m(\text{C}_2\text{H}_4) = 0,2 \cdot 28 = 5,6 \text{ г.}$$

Масса пропана в исходной смеси равна разнице масс исходной смеси и этена:

$$m(\text{C}_3\text{H}_8) = 14,4 - 5,6 = 8,8 \text{ г.}$$

Находим количество пропана:

$$v(\text{C}_3\text{H}_8) = m(\text{C}_3\text{H}_8)/M(\text{C}_3\text{H}_8);$$

$$v(\text{C}_3\text{H}_8) = 8,8/44 = 0,2 \text{ моль.}$$

Рассчитываем объем пропана:

$$V(\text{C}_3\text{H}_8) = v(\text{C}_3\text{H}_8) \cdot 22,4 \text{ л/моль};$$

$$V(\text{C}_3\text{H}_8) = 0,2 \cdot 22,4 = 4,48 \text{ л.}$$

Объем исходной смеси равен сумме объемов этена и пропана:

$$V(\text{смеси}) = V(\text{C}_2\text{H}_4) + V(\text{C}_3\text{H}_8);$$

$$V(\text{смеси}) = 4,48 + 4,48 = 8,96 \text{ л.}$$

Определяем объемную долю этена:

$$\varphi(\text{C}_2\text{H}_4) = \frac{V(\text{C}_2\text{H}_4)}{V(\text{смеси})} \cdot 100 \%;$$

$$\varphi(\text{C}_2\text{H}_4) = \frac{4,48}{8,96} \cdot 100 = 50 \%.$$

**14.49.** К 10 л (н.у.) смеси пропана и этена добавили 6 л (н.у.) водорода. Смесь нагрели в присутствии платины. Объем (н.у.) газа после реакции равен 12 л. Определите объемную долю этена в исходной смеси.

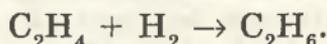
Ответ: 40 %.

**14.50.** К 20 л (н.у.) смеси метана и этена добавили 12 л (н.у.) водорода. Смесь нагрели в присутствии платины. Объем (н.у.) ее после реакции стал равным 24 л. Определите объемную долю этена в исходной смеси.

**Решение.** Рассчитываем объем исходной смеси:

$$V_1 = 20 \text{ л} + 12 \text{ л} = 32 \text{ л}.$$

Водород будет реагировать только с этеном:



Согласно уравнению реакции один объем этена реагирует с одним объемом водорода с образованием одного объема этана. Следовательно, объем водорода, вступившего в реакцию, будет равен разнице суммарного объема водорода и этена и объема этана:

$$V(\text{H}_2) = V(\text{H}_2 + \text{C}_2\text{H}_4) - V(\text{C}_2\text{H}_6).$$

Поскольку объем метана в исходной и конечной смесях один и тот же, объем прореагировавшего водорода можно рассчитать как разницу объемов исходной и конечной смесей:

$$V(\text{H}_2) = V_{\text{исх}} - V_{\text{к}}; V(\text{H}_2) = 32 - 24 = 8 \text{ л}.$$

Определяем объем  $\text{C}_2\text{H}_4$ . Согласно уравнению реакции

$$V(\text{C}_2\text{H}_4) = V(\text{H}_2); V(\text{C}_2\text{H}_4) = 8 \text{ л}.$$

Вычисляем объемную долю этена в исходной смеси:

$$\varphi(\text{C}_2\text{H}_4) = \frac{V(\text{C}_2\text{H}_4)}{V(\text{смеси})} \cdot 100 \%;$$

$$\varphi(\text{C}_2\text{H}_4) = \frac{8}{20} \cdot 100 = 40 \%.$$

14.51. Какой максимальный объем хлороводорода (н.у.) может присоединить 10 г пропена?

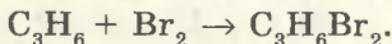
Ответ: 5,3 л.

14.52. Какую максимальную массу воды может присоединить 10 г бутена?

Ответ: 3,2 г.

14.53. Смесь пропена, этана и метана имеет относительную плотность по водороду 14,67. Смесь пропустили через избыток бромной воды. После этого относительная плотность газа по водороду стала равной 11,5. Определите объемную долю (в процентах) пропена в исходной смеси.

**Решение.** С бромной водой будет реагировать только пропен:



Следовательно, конечная смесь будет содержать этан и метан. Рассчитываем молярную массу исходной газовой смеси:

$$M_1 = D \cdot M(\text{H}_2); M_1 = 14,67 \cdot 2 = 29,34 \text{ г/моль.}$$

Находим молярную массу конечной газовой смеси:

$$M_2 = D \cdot M(\text{H}_2); M_2 = 11,5 \cdot 2 = 23 \text{ г/моль.}$$

Для расчетов примем образец исходной смеси количеством вещества 1 моль. Его объем при н.у. равен 22,4 л. Пусть  $x$  — количество этана,  $y$  — количество метана, тогда количество пропена в исходной смеси —  $(1 - x - y)$ .

Выражаем массы углеводородов в исходной смеси:

$$m(\text{C}_2\text{H}_6) = \nu(\text{C}_2\text{H}_6) \cdot M(\text{C}_2\text{H}_6); m(\text{C}_2\text{H}_6) = 30x;$$

$$m(\text{CH}_4) = \nu(\text{CH}_4) \cdot M(\text{CH}_4); m(\text{CH}_4) = 16y;$$

$$m(\text{C}_3\text{H}_6) = \nu(\text{C}_3\text{H}_6) \cdot M(\text{C}_3\text{H}_6); m(\text{C}_3\text{H}_6) = (1 - x - y) \cdot 42.$$

Выражаем молярную массу исходной смеси:

$$M_1 = (m(\text{C}_2\text{H}_6) + m(\text{CH}_4) + m(\text{C}_3\text{H}_6)) / (\nu(\text{C}_2\text{H}_6) + \nu(\text{CH}_4) + \nu(\text{C}_3\text{H}_6)).$$

В последнее уравнение подставляем известные значения:

$$29,34 = (30x + 16y + (1 - x - y) \cdot 42) / (x + y + 1 - x - y).$$

Преобразовываем уравнение:

$$12x + 26y = 12,36. \quad (1)$$

Выражаем молярную массу конечной смеси:

$$M_2 = (m(C_2H_6) + m(CH_4)) / (v(C_2H_6) + v(CH_4)).$$

В уравнение подставляем известные значения:

$$23 = (30x + 16y) / (x + y).$$

Преобразовываем уравнение:

$$x = y. \quad (2)$$

Составляем систему уравнений из уравнений (1) и (2):

$$\begin{cases} 12x + 26y = 12,66, \\ x = y. \end{cases}$$

Решив систему, получим  $x = 0,33$  моль,  $y = 0,33$  моль.

Вычисляем количество пропена:

$$v(C_3H_6) = (1 - x - y);$$

$$v(C_3H_6) = 1 - 0,33 - 0,33 = 0,34 \text{ моль.}$$

Рассчитываем его объем:

$$V(C_3H_6) = v(C_3H_6) \cdot 22,4 \text{ л/моль};$$

$$V(C_3H_6) = 0,34 \cdot 22,4 = 7,6 \text{ л.}$$

Определяем объемную долю пропена в исходной газовой смеси:

$$\varphi(C_3H_6) = \frac{V(C_3H_6)}{V(\Gamma)} \cdot 100 \%;$$

$$\varphi(C_3H_6) = \frac{7,6}{22,4} \cdot 100 = 34 \%.$$

**14.54.** Смесь этена, бутана и метана имеет плотность по водороду 16,25. Смесь пропустили через избыток бромной воды. После этого плотность газа по водороду стала равной 18,5. Определите массовую долю (в процентах) этена в исходной смеси.

Ответ: 43 %.

**14.55.** Относительная плотность смеси алкана и алкена по водороду равна 33,5. Оба соединения имеют одинаковое число атомов водорода. Определите их число.

**Решение.** Рассчитаем молярную массу газовой смеси:

$$M(\Gamma) = D \cdot M(H_2); M(\Gamma) = 33,5 \cdot 2 = 67 \text{ г/моль.}$$

Для расчетов выбираем образец смеси количеством вещества 1 моль.

Если формула алкана  $C_xH_{2x+2}$ , то формула алкена согласно условию будет  $C_{x+1}H_{2x+2}$ . Пусть  $y$  — количество алкана  $C_xH_{2x+2}$ , тогда количество алкена  $C_{x+1}H_{2x+2}$  равно  $(1-y)$ . Выражаем молярные массы алкана и алкена:

$$M(C_xH_{2x+2}) = 14x + 2;$$

$$M(C_{x+1}H_{2x+2}) = 14x + 14.$$

Выражаем массы углеводородов в смеси:

$$m(C_xH_{2x+2}) = \nu(C_xH_{2x+2}) \cdot M(C_xH_{2x+2});$$

$$m(C_xH_{2x+2}) = y \cdot (14x + 2);$$

$$m(C_{x+1}H_{2x+2}) = \nu(C_{x+1}H_{2x+2}) \cdot M(C_{x+1}H_{2x+2});$$

$$m(C_{x+1}H_{2x+2}) = (1 - y) \cdot (14x + 14).$$

В уравнение

$$M(\text{смеси}) = (m(C_xH_{2x+2}) + m(C_{x+1}H_{2x+2}))/\nu(\text{смеси})$$

подставляем известные значения:

$$67 = (y \cdot (14x + 2) + (1 - y) \cdot (14x + 14))/1.$$

Преобразовываем уравнение:

$$y = (14x - 53)/12,$$

где  $x$  может принимать только целочисленные значения 1 и более,  $y$  — только от 0 до 1, потому что количества алкана в смеси не может быть больше количества смеси, т.е. больше 1 моль.

Если  $x = 1$ ,  $y = -3,25$  (не удовлетворяет требованию).

Если  $x = 2$ ,  $y = -2,08$  (не удовлетворяет требованию).

Если  $x = 3$ ,  $y = -0,92$  (не удовлетворяет требованию).

Если  $x = 4$ ,  $y = 0,25$  (удовлетворяет требованию).

Следовательно, согласно принятым формулам алкана и алкена число атомов водорода в их составе равно 10. Значения  $x$  более 4 также не удовлетворяют требованию.

**14.56.** Относительная плотность смеси алкана и алкена по водороду равна 32. Оба соединения имеют одинаковое число атомов водорода. Определите объемную долю (в процентах) алкена.

Ответ: 50 %.

**14.57.** Относительная плотность газовой смеси, состоящей из пропена и водорода, по водороду равна 11. Смесь поместили в замкнутый сосуд с платиновым катализатором. К моменту установления равновесия прореагировало 30 % водорода. Определите массовую долю (в процентах) пропана в конечной смеси.

**Решение.** Рассчитываем молярную массу исходной газовой смеси:

$$M(\text{г}) = D \cdot M(\text{H}_2); M(\text{г}) = 11 \cdot 2 = 22 \text{ г/моль.}$$

Выбираем образец смеси количеством вещества 1 моль. Его масса будет составлять 22 г. Количество исходной смеси равно сумме количеств водорода и пропена и составляет 1 моль:

$$\nu(\text{H}_2) + \nu(\text{C}_3\text{H}_6) = 1 \text{ моль.}$$

Выражаем количество пропена:

$$\nu(\text{C}_3\text{H}_6) = 1 - \nu(\text{H}_2).$$

Выражаем массы водорода и пропена в смеси:

$$m(\text{H}_2) = \nu(\text{H}_2) \cdot M(\text{H}_2); m(\text{H}_2) = \nu(\text{H}_2) \cdot 2;$$

$$m(\text{C}_3\text{H}_6) = \nu(\text{C}_3\text{H}_6) \cdot M(\text{C}_3\text{H}_6); m(\text{C}_3\text{H}_6) = (1 - \nu(\text{H}_2)) \cdot 42.$$

Масса образца равна сумме масс водорода и пропена, что составляет 22 г:

$$m(\text{H}_2) + m(\text{C}_3\text{H}_6) = 22.$$

Подставляем в уравнения значения масс водорода и пропена:

$$\nu(\text{H}_2) \cdot 2 + (1 - \nu(\text{H}_2)) \cdot 42 = 22.$$

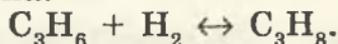
Решаем уравнение:

$$\nu(\text{H}_2) = 0,5 \text{ моль.}$$

Рассчитываем количество водорода, вступившего в реакцию:

$$\nu_1(\text{H}_2) = (30 \% \cdot 0,5) / 100 \% = 0,15 \text{ моль.}$$

Записываем уравнение реакции взаимодействия водорода и пропена:



Определяем количество образовавшегося пропана. Согласно уравнению реакции

$$\nu(\text{C}_3\text{H}_8) = \nu_1(\text{H}_2); \nu(\text{C}_3\text{H}_8) = 0,15 \text{ моль.}$$

Находим массу пропана:

$$m(\text{C}_3\text{H}_8) = \nu(\text{C}_3\text{H}_8) \cdot M(\text{C}_3\text{H}_8);$$

$$m(\text{C}_3\text{H}_8) = 0,15 \cdot 44 = 6,6 \text{ г.}$$

Определяем массовую долю пропана, учитывая, что масса газа после реакции равна массе исходной газовой смеси, т.е. 22 г:

$$\omega(\text{C}_3\text{H}_8) = \frac{m(\text{C}_3\text{H}_8)}{m(\text{г})} \cdot 100 \%;$$

$$\omega(\text{C}_3\text{H}_8) = \frac{6,6}{22} \cdot 100 = 30 \%.$$

**14.58.** Плотность газовой смеси, состоящей из этана и водорода, по водороду равна 7,5. Смесь нагрели в замкнутом сосуде с платиновым катализатором. К моменту установления равновесия прореагировало 40 % водорода. Определите массовую долю (в процентах) этана в конечной смеси.

Ответ: 40 %.

**14.59.** Смесь алкана и алкена объемом 6,72 л (н.у.) пропустили через избыток раствора бромной воды. В результате этого объем газа уменьшился в 1/3 часть, масса — на 5,6 г. Определите формулу алкена.

**Решение.** Поскольку с бромной водой реагирует только алкен, его масса в смеси равна 5,6 г, а объем — 1/3 объема исходной смеси:

$$6,72 \text{ л} : 3 = 2,24 \text{ л.}$$

Рассчитываем количества вещества алкена:

$$\nu(\text{C}_n\text{H}_{2n}) = V(\text{C}_n\text{H}_{2n})/22,4 \text{ л/моль};$$

$$\nu(\text{C}_n\text{H}_{2n}) = 2,24/22,4 = 0,1 \text{ моль.}$$

Находим его молярную массу:

$$M(\text{C}_n\text{H}_{2n}) = m(\text{C}_n\text{H}_{2n})/\nu(\text{C}_n\text{H}_{2n});$$

$$M(\text{C}_n\text{H}_{2n}) = 5,6/0,1 = 56 \text{ г/моль.}$$

Поскольку

$$M(\text{C}_n\text{H}_{2n}) = nM(\text{C}) + 2nM(\text{H}),$$

рассчитываем  $n$ :

$$56 = 12n + 2n.$$

откуда  $n = 4$ .

Следовательно, формула алкена имеет вид  $C_4H_8$ .

14.60. Смесь алкана и алкена объемом 4,48 л (н.у.) пропустили через избыток раствора бромной воды. В результате этого объем газа уменьшился в 2 раза, масса — на 4,2 г. Определите формулу алкена.

Ответ:  $C_3H_6$ .

14.61. При пропускании 20 л (н.у.) бутана над катализатором получили 40 г бутадиена-1,3. Определите выход алкадиена.

Ответ: 83 %.

14.62. Какую массу брома может присоединить 11,2 л (н.у.) смеси бутадиена-1,3 и этена? Объемная доля этена равна 40 %.

Ответ: 128 г.

14.63. Какую массу бутадиена можно получить при пропускании 50 г этилового спирта над катализатором? Выход алкадиена равен 80 %.

Ответ: 22,4 г.

14.64. Смесь бутана и бутена-2, полученная при гидрировании 5,4 г бутадиена, обесцветила 80 г бромной воды с массовой долей брома 4 %. Определите массовую долю бутана в смеси углеводородов.

Решение. Рассчитываем массу брома:

$$m(\text{Br}_2) = (\omega(\text{Br}_2) \cdot m(\text{p-ра}))/100 \%;$$

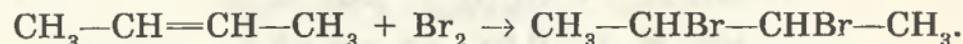
$$m(\text{Br}_2) = (80 \cdot 4)/100 = 3,2 \text{ г.}$$

Вычисляем его количество:

$$\nu(\text{Br}_2) = m(\text{Br}_2)/M(\text{Br}_2);$$

$$\nu(\text{Br}_2) = 3,2/160 = 0,02 \text{ моль.}$$

Составляем уравнение реакции взаимодействия брома и бутена-2:



Определяем количество бутена. Согласно уравнению реакции

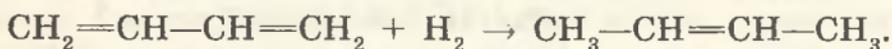
$$\nu(\text{C}_4\text{H}_8) = \nu(\text{Br}_2); \nu(\text{C}_4\text{H}_8) = 0,02 \text{ моль.}$$

Находим массу бутена в смеси:

$$m(\text{C}_4\text{H}_8) = \nu(\text{C}_4\text{H}_8) \cdot M(\text{C}_4\text{H}_8);$$

$$m(\text{C}_4\text{H}_8) = 0,02 \cdot 56 = 1,12 \text{ г.}$$

Записываем уравнение реакции взаимодействия бутадиена с водородом с образованием бутена:



Определяем количество бутадиена, вступившего в реакцию с водородом с образованием бутена. Согласно уравнению реакции

$$v_1(\text{C}_4\text{H}_6) = v(\text{C}_4\text{H}_8); v_1(\text{C}_4\text{H}_6) = 0,02 \text{ моль.}$$

Рассчитываем его массу

$$m_1(\text{C}_4\text{H}_6) = v_1(\text{C}_4\text{H}_6) \cdot M(\text{C}_4\text{H}_6);$$

$$m_1(\text{C}_4\text{H}_6) = 0,02 \cdot 54 = 1,08 \text{ г.}$$

Часть бутадиена прореагировала с водородом с образованием бутана:



Его масса равна разнице масс бутадиена в исходной смеси и бутадиена, прореагировавшего с водородом с образованием бутена:

$$m_2(\text{C}_4\text{H}_6) = m(\text{C}_4\text{H}_6) - m_1(\text{C}_4\text{H}_6);$$

$$m_2(\text{C}_4\text{H}_6) = 5,4 - 1,08 = 4,32 \text{ г.}$$

Находим количество бутадиена, прореагировавшего с водородом с образованием бутана:

$$v_2(\text{C}_4\text{H}_6) = m_2(\text{C}_4\text{H}_6)/M(\text{C}_4\text{H}_6);$$

$$v_2(\text{C}_4\text{H}_6) = 4,32/54 = 0,08 \text{ моль.}$$

Определяем количество бутана. Из последнего уравнения реакции следует, что

$$v(\text{C}_4\text{H}_{10}) = v_2(\text{C}_4\text{H}_6); v(\text{C}_4\text{H}_{10}) = 0,08 \text{ моль.}$$

Рассчитываем массу бутана в смеси:

$$m(\text{C}_4\text{H}_{10}) = v(\text{C}_4\text{H}_{10}) \cdot M(\text{C}_4\text{H}_{10});$$

$$m(\text{C}_4\text{H}_{10}) = 0,08 \cdot 58 = 4,64 \text{ г.}$$

Вычисляем массовую долю бутана в смеси:

$$\omega(\text{C}_4\text{H}_{10}) = \frac{m(\text{C}_4\text{H}_{10})}{m(\text{C}_4\text{H}_{10}) + m(\text{C}_4\text{H}_8)} \cdot 100 \%;$$

$$\omega(\text{C}_4\text{H}_{10}) = \frac{4,64}{4,64 + 1,12} \cdot 100 = 81 \%.$$

**14.65.** В результате пропускания смеси бутана и бутена-2, полученной при гидрировании 10,8 г бутадиена, через избыток раствора  $\text{Br}_2$  образовалось 17,28 г 2,3-дибромбутана. Определите массовую долю бутана в смеси углеводородов.

Ответ: 61 %.

**14.66.** Плотность паров алкадиена при давлении, равном 50,65 кПа, и температуре 27 °С составляет 1,097 г/л. Определите формулу алкадиена.

**Решение.** Приведем объем 1 л газа к нормальным условиям, учитывая, что  $T = (273 + 27)\text{K} = 300\text{ K}$ :

$$V_0 = P \cdot V \cdot T_0 / P_0 \cdot T;$$

$$V_0 = (50,65 \cdot 1 \cdot 273) / (101,3 \cdot 300) = 0,455 \text{ л.}$$

Определяем молярную массу алкадиена. Для этого составляем пропорцию:

0,455 л (н.у.) имеет массу 1,097 г;

22,4 л           »           »           x г;

$$x = 54 \text{ г.}$$

Значит, молярная масса алкадиена равна 54 г/моль. Поскольку

$$M(\text{C}_n\text{H}_{2n-2}) = nM(\text{C}) + (2n - 2)M(\text{H}),$$

рассчитываем  $n$ :

$$54 = 12n + 2n - 2; n = 4.$$

Следовательно, формула алкадиена —  $\text{C}_4\text{H}_6$ .

**14.67.** Плотность паров алкадиена при давлении, равном 95 кПа, и температуре 20 °С составляет 2,653 г/л. Определите формулу алкадиена.

Ответ:  $\text{C}_5\text{H}_8$ .

### 14.3. АЛКИНЫ

**14.68.** Какой объем ацетилен образуется при действии воды на 40 г технического карбида кальция? Массовая доля примесей в карбиде составляет 20 %, выход ацетилен 90 %.

Ответ: 10,1 л.

**14.69.** Газ, полученный при взаимодействии 15 г технического карбида кальция с избытком воды,

прореагировал с 64 г брома. Определите массовую долю (в процентах)  $\text{CaC}_2$  в составе карбида.

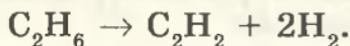
Ответ: 85 %.

14.70. Смесь пропана и пропена, полученная при гидрировании 4 г пропиена, обесцветила 100 г раствора брома в тетрахлориде углерода (массовая доля брома 3,2 %). Определите массовую долю (в процентах) пропана в смеси углеводородов.

Ответ: 81 %.

14.71. При дегидрировании 20 л смеси ацетилен и этана получили 30 л смеси ацетилен и водорода. Определите объемную долю ацетилен в исходной смеси.

Решение. Дегидрированию будет подвергаться только этан:



Увеличение объема смеси определяется образованием водорода в результате реакции. Его объем равен разности объемов образовавшейся и исходной смесей:

$$V(\text{H}_2) = 30 \text{ л} - 20 \text{ л} = 10 \text{ л}.$$

Определяем объем этана. Согласно уравнению реакции

$$V(\text{C}_2\text{H}_6) = 0,5V(\text{H}_2); V(\text{C}_2\text{H}_6) = 0,5 \cdot 10 = 5 \text{ л}.$$

Объем ацетилен в исходной смеси равен разности объемов исходной смеси и этана:

$$V(\text{C}_2\text{H}_2) = 20 - 5 = 15 \text{ л}.$$

Рассчитываем объемную долю ацетилен:

$$\varphi(\text{C}_2\text{H}_2) = \frac{V(\text{C}_2\text{H}_2)}{V(\text{смеси})} \cdot 100 \%;$$

$$\varphi(\text{C}_2\text{H}_2) = \frac{15}{20} \cdot 100 = 75 \%.$$

14.72. В результате сгорания 1 объема газообразного алкина образовалось 2 объема  $\text{CO}_2$  и 1 объем паров  $\text{H}_2\text{O}$ . Определите формулу алкина.

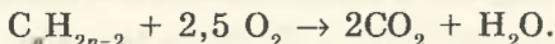
Решение. Составим схему реакции:



Так как алкин, оксид углерода (IV) и вода в указанных условиях являются газами, их количества будут соотноситься как их объемы:

$$v(\text{C}_n\text{H}_{2n-2}) : v(\text{CO}_2) : v(\text{H}_2\text{O}) = V(\text{C}_n\text{H}_{2n-2}) : V(\text{CO}_2) : V(\text{H}_2\text{O}) = 1 : 2 : 1.$$

Расставляем коэффициенты в уравнении реакции:



Из уравнения реакции следует, что  $n = 2$ .

Таким образом, формула алкина  $\text{C}_2\text{H}_2$ .

**14.73.** В результате сгорания 2 объемов газообразного алкина образовалось 8 объемов  $\text{CO}_2$  и 6 объемов паров  $\text{H}_2\text{O}$ . Определите формулу алкина.

Ответ:  $\text{C}_4\text{H}_6$ .

**14.74.** Какой объем (н.у.) ацетилена (в метрах кубических) можно получить из  $3000 \text{ м}^3$  (н.у.) природного газа, содержащего 95 % метана? Выход ацетилена достигает 90 %.

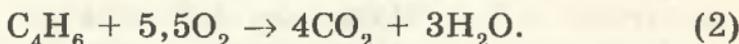
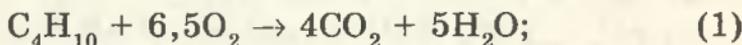
Ответ:  $1283 \text{ м}^3$ .

**14.75.** Какая масса хлорэтена образуется при взаимодействии 20 л (н.у.) ацетилена с 40 г хлороводорода? Выход хлорэтена достигает 90 %.

Ответ: 50,2 г.

**14.76.** В результате горения смеси бутана и бутина образовалось 88 г  $\text{CO}_2$  и 30,6 г  $\text{H}_2\text{O}$ . Определите объемную долю (в процентах) бутина в исходной смеси.

**Решение.** Составляем уравнения реакций:



Количество бутана обозначаем  $x$ ; количество бутина —  $y$ . Определяем количество оксида углерода, образовавшегося в результате реакции (1). Согласно уравнению

$$v_1(\text{CO}_2) = 4v(\text{C}_4\text{H}_{10}); \quad v_1(\text{CO}_2) = 4x.$$

Выражаем его массу:

$$m_1(\text{CO}_2) = v_1(\text{CO}_2) \cdot M(\text{CO}_2);$$

$$m_1(\text{CO}_2) = 4x \cdot 44 = 176x.$$

Определяем количество оксида углерода, образовавшегося в результате реакции (2). В соответствии с уравнением

$$v_2(\text{CO}_2) = 4v(\text{C}_4\text{H}_6); \quad v_2(\text{CO}_2) = 4y.$$

Выражаем его массу:

$$m_2(\text{CO}_2) = v_2(\text{CO}_2) \cdot M(\text{CO}_2);$$

$$m_2(\text{CO}_2) = 4y \cdot 44 = 176 y.$$

Суммарная масса образовавшегося оксида углерода равна 88 г:

$$m_1(\text{CO}_2) + m_2(\text{CO}_2) = 88 \text{ г.} \quad (3)$$

В уравнение (3) подставляем значения масс оксида углерода:

$$176x + 176y = 88. \quad (4)$$

Определяем количество воды, образовавшейся в результате реакции (1). Согласно уравнению

$$v_1(\text{H}_2\text{O}) = 5v(\text{C}_4\text{H}_{10}); \quad v_1(\text{H}_2\text{O}) = 5x.$$

Выражаем ее массу:

$$m_1(\text{H}_2\text{O}) = v_1(\text{H}_2\text{O}) \cdot M(\text{H}_2\text{O});$$

$$m_1(\text{H}_2\text{O}) = 5x \cdot 18 = 90 x.$$

Определяем количество воды, образовавшейся в результате реакции (2). Из уравнения реакции следует, что

$$v_2(\text{H}_2\text{O}) = 3v(\text{C}_4\text{H}_6); \quad v_2(\text{H}_2\text{O}) = 3y.$$

Выражаем ее массу:

$$m_2(\text{H}_2\text{O}) = v_2(\text{H}_2\text{O}) \cdot M(\text{H}_2\text{O});$$

$$m_2(\text{H}_2\text{O}) = 3y \cdot 18 = 54 y.$$

Суммарная масса образовавшейся воды равна 30,6 г:

$$m_1(\text{H}_2\text{O}) + m_2(\text{H}_2\text{O}) = 30,6. \quad (5)$$

В уравнение (5) подставляем значения масс воды:

$$90x + 54y = 30,6. \quad (6)$$

Составляем систему из уравнений (4) и (6):

$$\begin{cases} 176x + 176y = 88, \\ 90x + 54y = 30,6. \end{cases}$$

Решив систему, получим  $x = 0,1$ ;  $y = 0,4$ .

Следовательно,

$$v(\text{C}_4\text{H}_{10}) = 0,1 \text{ моль}; \quad v(\text{C}_4\text{H}_6) = 0,4 \text{ моль}.$$

Рассчитываем объем бутана:

$$V(C_4H_6) = \nu(C_4H_6) \cdot 22,4 \text{ л/моль};$$

$$V(C_4H_6) = 0,4 \cdot 22,4 = 8,96 \text{ л.}$$

Количество смеси равно сумме количеств бутана и бутина:

$$\nu(\text{смеси}) = \nu(C_4H_{10}) + \nu(C_4H_6);$$

$$\nu(\text{смеси}) = 0,1 + 0,4 = 0,5 \text{ моль.}$$

Находим объем смеси:

$$V(\text{смеси}) = \nu(\text{смеси}) \cdot 22,4 \text{ л/моль};$$

$$V(\text{смеси}) = 0,5 \cdot 22,4 = 11,2 \text{ л.}$$

Определяем объемную долю бутана:

$$\varphi(C_4H_6) = \frac{V(C_4H_6)}{V(\text{смеси})} \cdot 100 \text{ \%}.$$

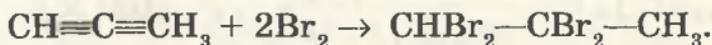
$$\varphi(C_4H_6) = \frac{8,96}{11,2} \cdot 100 = 80 \text{ \%}.$$

**14.77.** В результате горения смеси ацетилена и метана образовалось 26,4 г  $CO_2$  и 16,2 г  $H_2O$ . Определите массовую долю (в процентах) ацетилена в исходной смеси.

Ответ: 28,9 %.

**14.78.** При пропускании смеси пропана и пропина через бромную воду образовалось 36 г 1,1,2,2-тетрабромпропана. На сгорание исходной смеси требуется 31,36 л (н.у.)  $O_2$ . Определите массовую долю (в процентах) пропина в исходной смеси.

**Решение.** Записываем уравнение реакции пропина с бромной водой:



Рассчитываем количество тетрабромпропана:

$$\nu(C_3H_4Br_4) = m(C_3H_4Br_4) / M(C_3H_4Br_4);$$

$$\nu(C_3H_4Br_4) = 36 / 360 = 0,1 \text{ моль.}$$

Определяем количество пропина. Согласно уравнению реакции

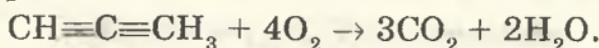
$$\nu(C_3H_4) = \nu(C_3H_4Br_4); \nu(C_3H_4) = 0,1 \text{ моль.}$$

Вычисляем массу пропина в смеси:

$$m(\text{C}_3\text{H}_4) = \nu(\text{C}_3\text{H}_4) \cdot M(\text{C}_3\text{H}_4);$$

$$m(\text{C}_3\text{H}_4) = 0,1 \cdot 40 = 4 \text{ г.}$$

Определяем количество кислорода, затраченного на сгорание пропина:



Согласно уравнению реакции

$$\nu_1(\text{O}_2) = 4\nu(\text{C}_3\text{H}_4);$$

$$\nu_1(\text{O}_2) = 4 \cdot 0,1 = 0,4 \text{ моль.}$$

Рассчитываем его объем:

$$V_1(\text{O}_2) = \nu_1(\text{O}_2) \cdot 22,4 \text{ л/моль};$$

$$V_1(\text{O}_2) = 0,4 \cdot 22,4 = 8,96 \text{ л.}$$

Находим объем кислорода, затраченного на сгорание пропана:

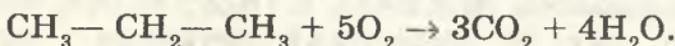
$$V_2(\text{O}_2) = 31,36 - 8,96 = 22,4 \text{ л.}$$

Вычисляем его количество:

$$\nu_2(\text{O}_2) = V_2(\text{O}_2)/22,4 \text{ л/моль};$$

$$\nu_2(\text{O}_2) = 22,4/22,4 = 1 \text{ моль.}$$

Составляем уравнение горения пропана:



Определяем количество пропана в смеси. Из уравнения реакции следует, что

$$\nu(\text{C}_3\text{H}_8) = 0,2\nu_2(\text{O}_2); \nu(\text{C}_3\text{H}_8) = 0,2 \cdot 1 = 0,2 \text{ моль.}$$

Находим массу пропана в смеси:

$$m(\text{C}_3\text{H}_8) = \nu(\text{C}_3\text{H}_8) \cdot M(\text{C}_3\text{H}_8); m(\text{C}_3\text{H}_8) = 0,2 \cdot 44 = 8,8 \text{ г.}$$

Вычисляем массовую долю пропина:

$$\omega(\text{C}_3\text{H}_4) = \frac{m(\text{C}_3\text{H}_4)}{m(\text{C}_3\text{H}_4) + m(\text{C}_3\text{H}_8)} \cdot 100 \%;$$

$$\omega(\text{C}_3\text{H}_4) = \frac{4}{4 + 8,8} \cdot 100 = 31 \%.$$

14.79. При пропускании 20 л (н.у.) смеси этина и этана через аммиачный раствор оксида серебра получили 24 г ацетиленида серебра. Определите объемную долю (в процентах) этина в смеси.

Ответ: 11,2 %.

## 14.4. АРЕНЫ

14.80. Газ, полученный при действии воды на карбид кальция массой 128 г, пропустили через трубку с активированным углем при температуре 600 °С. В результате реакции получили бензол массой 40 г. Определите выход (в процентах) бензола.

Ответ: 77 %.

14.81. При дегидрировании 5,3 г этилбензола получили стирол, который обесцветил 200 г раствора брома с массовой долей  $\text{Br}_2$  3,2 %. Определите выход (в процентах) стирола, если выход продукта бромирования стирола равен 100 %.

Ответ: 81 %.

14.82. Какая масса бромбензола образуется при взаимодействии 7,8 г бензола с избытком брома в присутствии  $\text{FeBr}_3$ , выход продукта реакции равен 90 %?

Ответ: 14,1 г.

14.83. Какую массу этилбензола можно получить при взаимодействии 7,8 г бензола с 6,6 г хлорэтана в присутствии  $\text{AlCl}_3$ ?

Ответ: 10,6 г.

14.84. При сгорании 9,2 г гомолога бензола образовалось 17,05 л  $\text{CO}_2$ . Объем измерен при давлении 100 кПа и температуре 20 °С. Определите формулу гомолога бензола.

Решение. Приведем объем оксида углерода к нормальным условиям, учитывая, что  $T = (273 + 20)\text{K} = 293\text{ K}$ :

$$V_0(\text{CO}_2) = P \cdot V \cdot T_0 / P_0 \cdot T;$$

$$V_0(\text{CO}_2) = (100 \cdot 17,5 \cdot 273) / (101,3 \cdot 293) = 15,68 \text{ л.}$$

Вычисляем количество оксида углерода:

$$\nu(\text{CO}_2) = V_0(\text{CO}_2) / 22,4 \text{ л/моль};$$

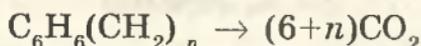
$$\nu(\text{CO}_2) = 15,68 / 22,4 = 0,7 \text{ моль.}$$

Общая формула гомологов бензола имеет вид  $\text{C}_6\text{H}_6(\text{CH}_2)_n$ . Выражаем количество гомолога бензола:

$$\nu(\text{C}_6\text{H}_6(\text{CH}_2)_n) = m(\text{C}_6\text{H}_6(\text{CH}_2)_n) / M(\text{C}_6\text{H}_6(\text{CH}_2)_n);$$

$$\nu(\text{C}_6\text{H}_6(\text{CH}_2)_n) = 9,2 / (78 + 14n).$$

Из схемы



следует, что

$$(6+n) \nu(C_6H_6(CH_2)_n) = \nu(CO_2).$$

В уравнение подставляем значения количеств гомолога бензола и оксида углерода:

$$(6+n) \cdot \frac{9,2}{78 + 14n} = 0,7,$$

откуда  $n = 1$ .

Следовательно, формула гомолога бензола  $C_7H_8$ .

**14.85.** При сгорании 10,6 г гомолога бензола образовалось 22,4 л паров  $H_2O$ . Объем измерен при нормальном давлении и температуре 273 °С. Определите формулу гомолога бензола.

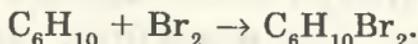
Ответ:  $C_8H_{10}$ .

**14.86.** Смесь бензола и стирола массой 12 г обесцвечивает 400 г бромной воды с массовой долей брома 4 %. Определите массовую долю бензола в смеси.

Ответ: 13,3 %.

**14.87.** Смесь бензола, циклогексана и циклогексена, реагируя с бромной водой, присоединяет 0,1 моль  $Br_2$ . При дегидрировании данной смеси образуется 0,5 моль бензола и  $H_2$ , количество которого в 2 раза меньше количества  $H_2$ , необходимого для полного гидрирования исходной смеси (в результате гидрирования образуется циклогексан). Определите количество бензола в исходной смеси.

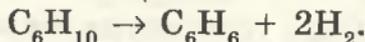
**Решение.** Бромная вода будет реагировать только с циклогексеном по уравнению



Рассчитываем количество циклогексена. Согласно уравнению реакции:

$$\nu(C_6H_{10}) = \nu(Br_2); \nu(C_6H_{10}) = 0,1 \text{ моль.}$$

При дегидрировании циклогексена образуется бензол:



Определяем количество бензола, образующегося из циклогексена. Из уравнения реакции следует, что

$$\nu_2(C_6H_6) = \nu(C_6H_{10}); \nu_2(C_6H_6) = 0,1 \text{ моль.}$$

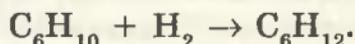
Вычисляем сумму количеств бензола, содержащегося в исходной смеси ( $v_1(\text{C}_6\text{H}_6)$ ) и полученного при дегидрировании циклогексана ( $v_3(\text{C}_6\text{H}_6)$ ):

$$v_1(\text{C}_6\text{H}_6) + v_3(\text{C}_6\text{H}_6) = 0,5 - 0,1 = 0,4 \text{ моль.}$$

Находим количество водорода ( $v_1(\text{H}_2)$ ), образовавшегося при дегидрировании циклогексана. Из уравнения реакции дегидрирования следует, что

$$v_1(\text{H}_2) = 2v(\text{C}_6\text{H}_{10}); v_1(\text{H}_2) = 0,2 \text{ моль.}$$

Определяем количество водорода ( $v_2(\text{H}_2)$ ), израсходованного на гидрирование циклогексена:

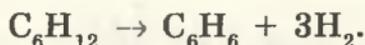


В соответствии с уравнением реакции

$$v_2(\text{H}_2) = v(\text{C}_6\text{H}_{10}); v_2(\text{H}_2) = 0,1 \text{ моль.}$$

Количество циклогексана  $v(\text{C}_6\text{H}_{12})$  в исходной смеси обозначим  $y$ .

Определяем количество водорода, образующегося при дегидрировании циклогексана:



Из уравнения реакции следует, что

$$v_4(\text{H}_2) = 3v(\text{C}_6\text{H}_{12}); v_4(\text{H}_2) = 3y.$$

Выражаем количество водорода ( $v_3(\text{H}_2)$ ), образовавшегося при дегидрировании смеси

$$v_3(\text{H}_2) = v_1(\text{H}_2) + v_4(\text{H}_2); v_3(\text{H}_2) = 0,2 + 3y.$$

Количество бензола в исходной смеси обозначаем  $z$ . Определяем количество водорода, израсходованного на гидрирование бензола:



Согласно уравнению реакции

$$v_6(\text{H}_2) = 3v_1(\text{C}_6\text{H}_6); v_6(\text{H}_2) = 3z.$$

Выражаем количество водорода ( $v_5(\text{H}_2)$ ), израсходованного на гидрирование смеси:

$$v_5(\text{H}_2) = v_2(\text{H}_2) + v_6(\text{H}_2) = 0,1 + 3z.$$

Отношение количества водорода, образовавшегося при дегидрировании смеси, к количеству водорода, израсходованного на гидрирование смеси, равно 1 : 2:

$$v_3(\text{H}_2) / v_5(\text{H}_2) = 1/2. \quad (1)$$

В уравнение (1) подставляем значения количеств водорода:

$$(0,2 + 3y)/(0,1 + 3z) = 1/2. \quad (2)$$

Преобразовываем уравнение (2):

$$z - 2y = 0,1. \quad (3)$$

Выражаем количество бензола, образовавшегося из циклогексана. Согласно уравнению дегидрирования циклогексана

$$v_3(\text{C}_6\text{H}_6) = v(\text{C}_6\text{H}_{12}); v_3(\text{C}_6\text{H}_6) = y.$$

Нами ранее определено, что

$$v_1(\text{C}_6\text{H}_6) + v_3(\text{C}_6\text{H}_6) = 0,4 \text{ моль.}$$

Переписываем уравнение, подставляя значения количеств бензола:

$$y + z = 0,4. \quad (4)$$

Составляем систему из уравнений (3) и (4):

$$\begin{cases} z - 2y = 0,1, \\ y + z = 0,4. \end{cases}$$

Решаем систему:  $y = 0,1$ ;  $z = 0,3$ .

Следовательно, количество бензола в смеси равно 0,3 моль.

**14.88.** Смесь бензола, циклогексана и циклогексена, реагируя с бромной водой, присоединяет 0,1 моль  $\text{Br}_2$ . При дегидрировании данной смеси образуются 0,5 моль бензола и водород. Отношение количества вещества  $\text{H}_2$ , образованного при дегидрировании смеси, к количеству вещества  $\text{H}_2$ , необходимого для полного гидрирования исходной смеси (в результате гидрирования образуется циклогексан), равно 8:7. Определите количество бензола в исходной смеси.

Ответ: 0,2 моль.

# Глава 15. КИСЛОРОДСОДЕРЖАЩИЕ ОРГАНИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ

## 15.1. СПИРТЫ, ФЕНОЛЫ

15.1. Какая масса бромэтана образуется при взаимодействии 23 г этанола с избытком бромида калия в присутствии серной кислоты при выходе продукта реакции 85 %?

Ответ: 46,3 г.

15.2. Бутен-2, полученный при дегидратации бутанола-2 массой 3,7 г, обесцветил 180 г бромной воды с массовой долей брома 4 %. Определите выход бутена-2, если выход второй реакции — 100 %.

Ответ: 90 %.

15.3. Какой объем (н.у.) водорода выделится при взаимодействии 19,5 г калия со 100 мл метанола, содержащего 5 % (по массе) воды при плотности раствора 0,8 г/мл.

Ответ: 5,6 л.

15.4. При нагревании 46 г этанола получили 32,5 г смеси диэтилового эфира и этена. Определите массу диэтилового эфира.

Ответ: 18,5 г.

15.5. Требуется приготовить 50 г раствора этилата натрия в этаноле с массовой долей  $C_2H_5ONa$  6,8 %. Определите, какую массу натрия и какой объем абсолютного этанола нужно взять для этого. Плотность абсолютного этанола 0,8 г/мл.

Ответ:  $m(Na)=1,15$  г,  $V(\text{этанола}) = 61,1$  мл.

15.6. Какую массу метанола (в килограммах) можно получить из 4 м<sup>3</sup> CO и 9 м<sup>3</sup> H<sub>2</sub>? Производственные потери составляют 15 %. Объемы газов измерены при н.у.

Ответ: 4,9 кг.

15.7. Какая масса диэтилового эфира образуется при взаимодействии 6,8 г этилата натрия и 11 г бромэтана? Выход эфира равен 90 %.

Ответ: 6,66 г.

15.8. Газ, полученный в результате взаимодействия 12,4 г этиленгликоля с избытком натрия, прореагировал с избытком CO. Определите массу образовавшегося спирта.

Ответ: 3,2 г.

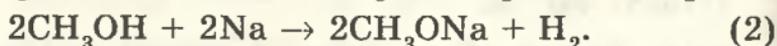
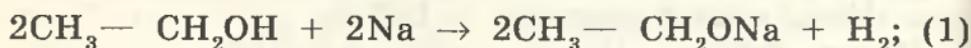
15.9. При взаимодействии смеси метанола и этанола с избытком натрия выделилось 4,48 л (н.у.) водорода и образовалось 24,4 г алкоголятов. Определите количество этанола в смеси.

**Решение.** Рассчитываем количество водорода:

$$v(\text{H}_2) = V(\text{H}_2)/22,4 \text{ л/моль};$$

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

Составляем уравнения реакций:



Определяем суммарное количество спиртов. Согласно уравнениям реакций при взаимодействии 2 моль спирта с натрием образуется 1 моль водорода. Следовательно,

$$v(\text{спирта}) = 2v(\text{H}_2); \quad v(\text{спирта}) = 2 \cdot 0,2 = 0,4 \text{ моль}.$$

Обозначаем количество этанола  $x$ ; количество метанола —  $y$ .

Сумма количеств этанола и метанола равна 0,4 моль:

$$x + y = 0,4. \quad (3)$$

Определяем количество  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{ONa}$ . В соответствии с уравнением реакции

$$v(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{ONa}) = v(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH});$$

$$v(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{ONa}) = x.$$

Выражаем его массу:

$$m(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{ONa}) = v(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{ONa}) \cdot M(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{ONa});$$

$$m(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{ONa}) = 68x.$$

Определим количество  $\text{CH}_3\text{ONa}$ . Из уравнения реакции (2) следует, что

$$v(\text{CH}_3\text{ONa}) = v(\text{CH}_3\text{OH}); \quad v(\text{CH}_3\text{ONa}) = y.$$

Выражаем его массу:

$$m(\text{CH}_3\text{ONa}) = v(\text{CH}_3\text{ONa}) \cdot M(\text{CH}_3\text{ONa});$$

$$m(\text{CH}_3\text{ONa}) = 54y.$$

Суммарная масса алкоголяттов равна 24,4 г:

$$m(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{ONa}) + m(\text{CH}_3\text{ONa}) = 24,4.$$

В уравнение подставляем значения масс алкоголяттов:

$$68x + 54y = 24,4. \quad (4)$$

Составляем систему из уравнений (3) и (4):

$$\begin{cases} x + y = 0,4, \\ 68x + 54y = 24,4. \end{cases}$$

Решаем систему:

$$x = \nu(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}) = 0,2 \text{ моль.}$$

**15.10.** При дегидратации этанола и пропанола получили 18 г  $\text{H}_2\text{O}$  и 35 г алкенов. Определите массу этанола в смеси.

Ответ: 23 г.

**15.11.** В результате горения соединения X массой 13,6 г образовалось 10,6 г карбоната натрия, 6,72 л (н.у.) оксида углерода (IV) и 9 г воды. Определите химическую формулу вещества, если известно, что его молярная масса равна 68 г/моль.

Решение. Записываем схему реакции:



Как видно из схемы реакции, в состав соединения X входят натрий, углерод и водород. Кислород также может входить в состав соединения, но его наличие требуется установить. Вначале определяем количества атомов натрия, водорода и углерода и их массы в составе продуктов реакции.

Рассчитываем количество карбоната натрия:

$$\nu(\text{Na}_2\text{CO}_3) = m(\text{Na}_2\text{CO}_3) : M(\text{Na}_2\text{CO}_3);$$

$$\nu(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 10,6 : 106 = 0,1 \text{ моль.}$$

Определяем количество натрия в составе карбоната. Из формулы  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  следует, что

$$\nu(\text{Na}) = 2\nu(\text{Na}_2\text{CO}_3); \nu(\text{Na}) = 2 \cdot 0,1 = 0,2 \text{ моль.}$$

Рассчитываем массу натрия:

$$m(\text{Na}) = \nu(\text{Na}) \cdot M(\text{Na}); m(\text{Na}) = 0,2 \cdot 23 = 4,6 \text{ г.}$$

Определяем количество углерода в составе карбоната натрия. Согласно его формуле

$$\nu_1(\text{C}) = \nu(\text{Na}_2\text{CO}_3); \nu_1(\text{C}) = 0,1 \text{ моль.}$$

Вычисляем количество воды:

$$\nu(\text{H}_2\text{O}) = m(\text{H}_2\text{O}) : M(\text{H}_2\text{O});$$

$$\nu(\text{H}_2\text{O}) = 9 : 18 = 0,5 \text{ моль.}$$

Из формулы воды  $\text{H}_2\text{O}$  следует, что

$$\nu(\text{H}) = 2\nu(\text{H}_2\text{O}); \nu(\text{H}) = 2 \cdot 0,5 = 1 \text{ моль.}$$

Находим массу водорода:

$$m(\text{H}) = \nu(\text{H}) \cdot M(\text{H}); m(\text{H}) = 1 \cdot 1 = 1 \text{ г.}$$

Рассчитываем количество оксида углерода:

$$\nu(\text{CO}_2) = V(\text{CO}_2) : 22,4 \text{ л/моль};$$

$$\nu(\text{CO}_2) = 6,72 : 22,4 = 0,3 \text{ моль.}$$

Определяем количество углерода в его составе. В соответствии с формулой оксида углерода

$$\nu_2(\text{C}) = \nu(\text{CO}_2); \nu_2(\text{C}) = 0,3 \text{ моль.}$$

Общее количество углерода равно сумме количеств углерода в составе карбоната и оксида:

$$\nu(\text{C}) = \nu_1(\text{C}) + \nu_2(\text{C}); \nu(\text{C}) = 0,1 + 0,3 = 0,4 \text{ моль.}$$

Рассчитываем массу углерода:

$$m(\text{C}) = \nu(\text{C}) \cdot M(\text{C}); m(\text{C}) = 0,4 \cdot 12 = 4,8 \text{ г.}$$

Далее устанавливаем наличие кислорода в соединении X. Для этого рассчитываем суммарную массу натрия, углерода и водорода в составе продуктов реакции:

$$m(\text{Na}) + m(\text{C}) + m(\text{H}) = 4,6 + 4,8 + 1 = 10,4 \text{ г.}$$

По условию масса соединения X равна 13,6 г. Следовательно, в его состав входит кислород. Находим его массу:

$$m(\text{O}) = m(\text{X}) - m(\text{Na}) - m(\text{C}) - m(\text{H});$$

$$m(\text{O}) = 13,6 - 4,6 - 4,8 - 1 = 3,2 \text{ г.}$$

Рассчитываем количество кислорода:

$$\nu(\text{O}) = m(\text{O}) : M(\text{O}); \nu(\text{O}) = 3,2 : 16 = 0,2 \text{ моль.}$$

И наконец, определяем молекулярную формулу соединения. Для этого находим соотношение количеств образующих его элементов:

$$\nu(\text{C}) : \nu(\text{H}) : \nu(\text{O}) : \nu(\text{Na}) = 0,4 : 1 : 0,2 : 0,2 = 2 : 5 : 1 : 1.$$

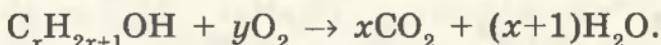
Тогда простейшая формула будет иметь вид  $C_2H_5ONa$ . Молярная масса  $C_2H_5ONa$  равна 68 г/моль. Известно, что и молярная масса соединения X равна 68 г/моль. Следовательно, молекулярная формула X соответствует простейшей:  $C_2H_5ONa$ .

**15.12.** После сжигания органического соединения X массой 4,8 г получили оксид углерода (IV) массой 6,6 г и воду массой 5,4 г. Относительная плотность этого соединения по водороду равна 16. Выведите молекулярную формулу соединения X.

Ответ:  $CH_3OH$ .

**15.13.** На сгорание 0,1 моль предельного одноатомного спирта было затрачено 6,72 л кислорода (н.у.). Определите формулу спирта.

**Решение.** Записываем схему реакции:



Рассчитываем количество кислорода:

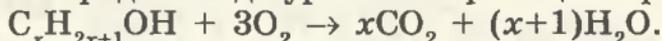
$$v(O_2) = V(O_2) : 22,4 \text{ л/моль};$$

$$v(O_2) = 6,72 : 22,4 = 0,3 \text{ моль}.$$

Определяем количество кислорода, необходимое для сгорания 1 моль спирта. Для этого находим отношение количества кислорода к количеству спирта:

$$v(O_2) : v(C_xH_{2x+1}OH) = 0,3 : 0,1 = 3 : 1.$$

Следовательно, на сгорание 1 моль спирта требуется 3 моль кислорода. Тогда уравнение реакции примет вид



Находим количество кислорода в левой и правой частях уравнения:

$$v_{\text{лев}}(O) = 2 \cdot 3 + 1 = 7 \text{ моль};$$

$$v_{\text{прав}}(O) = 2x + x + 1 = 3x + 1 \text{ моль}.$$

Поскольку количества кислорода в левой и правой частях уравнения реакции равны,

$$7 = 3x + 1;$$

$$x = 2.$$

Следовательно, формула спирта  $C_2H_5OH$ .

**15.14.** Массовая доля кислорода в составе предельного одноатомного спирта равна 0,5. Определите формулу спирта.

Ответ:  $CH_3OH$ .

15.15. При взаимодействии предельного одноатомного спирта образовался алкогольят натрия. Массовая доля Na в нем равна 0,2805. Определите формулу спирта.

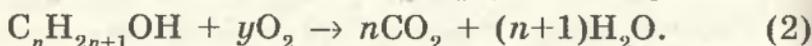
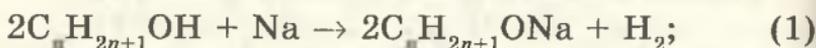
Ответ:  $C_3H_7OH$ .

15.16. При взаимодействии 14,8 г предельного одноатомного спирта с избытком натрия выделилось 2,24 л (н.у.) водорода. Определите формулу спирта.

Ответ:  $C_4H_9OH$ .

15.17. При сгорании предельного одноатомного спирта образовалось 2 моль  $CO_2$ , при взаимодействии такого же количества спирта с избытком натрия выделилось 5,6 л (н.у.) водорода. Определите формулу спирта.

Решение. Записываем уравнения реакций:



Рассчитываем количество водорода:

$$v(H_2) = V(H_2)/22,4 \text{ л/моль};$$

$$v(H_2) = 5,6/22,4 = 0,25 \text{ моль}.$$

Определяем количество спирта. Согласно уравнению реакции (1) при взаимодействии 2 моль спирта с натрием образуется 1 моль водорода.

Следовательно,

$$v(\text{спирта}) = 2v(H_2);$$

$$v(\text{спирта}) = 2 \cdot 0,25 = 0,5 \text{ моль}.$$

Из уравнения реакции (2) следует, что количество углерода в составе спирта равно количеству оксида углерода, образующегося при его сгорании. Рассчитываем количество углерода в составе 1 моль спирта. Для этого составляем пропорцию.

При сгорании 0,5 моль  $C_nH_{2n+1}OH$  образуется 2 моль  $CO_2$ ,

» 1 моль » » n,

$$n = 4 \text{ моль}.$$

Следовательно, формула спирта  $C_4H_9OH$ .

15.18. При взаимодействии предельного одноатомного спирта с избытком натрия выделилось 11,2 л (н.у.) водорода и образовалось 82 г алкоголята натрия. Определите формулу спирта.

Ответ:  $C_3H_7OH$ .

15.19. При взаимодействии 31 г предельного двухатомного спирта с избытком натрия выделилось 11,2 л (н.у.)  $H_2$ . Определите формулу спирта.

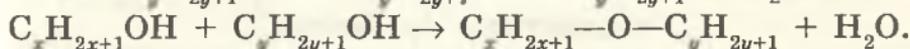
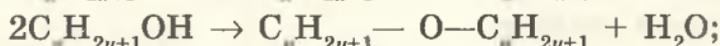
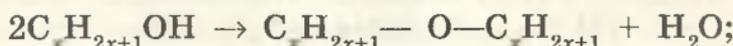
Ответ:  $C_2H_6O_2$  (этиленгликоль).

15.20. Относительная плотность паров соединения X по водороду равна 23. При окислении вещества X образуется альдегид. Определите формулу соединения X.

Ответ:  $C_2H_5OH$ .

15.21. При взаимодействии равных количеств двух одноатомных предельных спиртов (X и Y) образовалось три простых эфира массой 18 г и 0,3 моль  $H_2O$ . Определите количество атомов водорода в составе молекулы более легкого спирта.

**Решение.** Представим формулы спиртов как  $C_xH_{2x+1}OH$  и  $C_yH_{2y+1}OH$ . При взаимодействии этих спиртов образуются три различных эфира. Записываем уравнения реакций:



Определяем общее количество эфиров. Согласно уравнениям реакций

$$v(\text{эфиров}) = v(H_2O); \quad v(\text{эфиров}) = 0,3 \text{ моль.}$$

Поскольку количества спиртов равны, равны и количества эфиров. Следовательно,

$$\begin{aligned} v(C_xH_{2x+1}-O-C_xH_{2x+1}) &= v(C_yH_{2y+1}-O-C_yH_{2y+1}) = \\ &= v(C_xH_{2x+1}-O-C_yH_{2y+1}) = 0,3 : 3 = 0,1 \text{ моль.} \end{aligned}$$

Выражаем массы эфиров, учитывая, что их количества равны 0,1 моль:

$$m(C_xH_{2x+1}-O-C_xH_{2x+1}) = 0,1(28x + 18);$$

$$m(C_yH_{2y+1}-O-C_yH_{2y+1}) = 0,1(28y + 18);$$

$$m(C_xH_{2x+1}-O-C_yH_{2y+1}) = 0,1(14x + 14y + 18).$$

Суммарная масса эфиров равна 18 г:

$$0,1(28x + 18) + 0,1(28y + 18) + 0,1(14x + 14y + 18) = 18.$$

Упрощаем уравнение:

$$x + y = 3,$$

где  $x$  и  $y$  могут принимать только целочисленные значения.

Если  $x = 1$ , то  $y = 2$ . Другие значения  $x$  и  $y$  невозможны.

Следовательно, формула более легкого спирта  $\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{OH}$ . В состав молекулы этого спирта входят 4 атома водорода.

**15.22.** При взаимодействии равных количеств двух одноатомных предельных спиртов (X и Y) образовалось три простых эфира массой 44,4 г и 0,6 моль  $\text{H}_2\text{O}$ . Определите количество атомов водорода в составе молекулы более тяжелого спирта.

Ответ: 8.

**15.23.** При взаимодействии 0,2 моль спирта с избытком натрия выделилось 4,48 л (н.у.) водорода. При сгорании 6,2 г спирта образовалось 8,8 г  $\text{CO}_2$ . Определите формулу спирта.

**Решение.** Рассчитываем количество водорода:

$$v(\text{H}_2) = V(\text{H}_2)/22,4 \text{ л/моль};$$

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

Согласно условию

$$v(\text{спирта}) = 0,2 \text{ моль}.$$

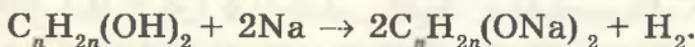
Нами определено

$$v(\text{H}_2) = 0,2 \text{ моль},$$

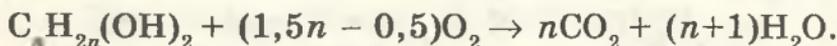
т.е.

$$v(\text{спирта}) = v(\text{H}_2).$$

Это возможно при условии, что искомый спирт — двухатомный. Подтвердим этот вывод уравнением реакции:



Записываем уравнение реакции горения спирта:



Рассчитываем количество оксида углерода:

$$v(\text{CO}_2) = m(\text{CO}_2)/M(\text{CO}_2); v(\text{CO}_2) = 8,8/44 = 0,2 \text{ моль}.$$

Выражаем количество спирта:

$$v(\text{C}_n\text{H}_{2n}(\text{OH})_2) = m(\text{C}_n\text{H}_{2n}(\text{OH})_2)/M(\text{C}_n\text{H}_{2n}(\text{OH})_2);$$

$$v(\text{C}_n\text{H}_{2n}(\text{OH})_2) = 6,2/(14n + 34).$$

Из уравнения реакции следует, что

$$v(\text{CO}_2) = n v(\text{C}_n\text{H}_{2n}(\text{OH})_2).$$

В последнее уравнение подставляем значение количеств оксида углерода и спирта:

$$0,2 = n \frac{6,2}{14n + 34},$$

откуда  $n = 2$ .

Следовательно, формула спирта  $C_2H_4(OH)_2$ .

**15.24.** При взаимодействии 0,2 моль спирта с избытком натрия выделилось 6,72 л (н.у.) водорода. При сгорании 9,2 г спирта образовалось 13,2 г  $CO_2$ . Определите формулу спирта.

Ответ:  $C_3H_8O_3$  (глицерин).

**15.25.** Определите массу 2,4,6-тринитрофенола, образующегося при действии избытка азотной кислоты на 47 г фенола, если его выход равен 85 %.

Ответ: 97,3 г.

**15.26.** Определите, какую массу фенола можно получить из 50 г хлорбензола, если его выход равен 90 %.

Ответ: 37,6 г.

**15.27.** Определите массу фенолята калия, образующегося при взаимодействии 9,4 г фенола с 20 мл раствора КОН с массовой долей гидроксида калия 40 % (плотность — 1,4 г/мл).

Ответ: 13,2 г.

**15.28.** Определите массовую долю (в процентах) фенола в эфире. Масса раствора равна 80 г. На нейтрализацию фенола затрачено 5,6 г гидроксида калия.

Ответ: 11,75 %.

**15.29.** При взаимодействии смеси метилового спирта и фенола с избытком натрия выделилось 2,24 л  $H_2$ . На нейтрализацию данной смеси требуется раствор, содержащий 4 г гидроксида натрия. Определите массовую долю (в процентах) метанола в исходной смеси.

Ответ: 25,4 %.

**15.30.** При взаимодействии смеси этанола и фенола с избытком натрия выделилось 4,48 л водорода. Данная смесь реагирует с бромной водой, содержащей 0,6 моль

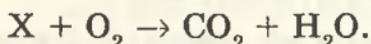
брома. Определите массовую долю (в процентах) фенола в исходной смеси.

Ответ: 67 %.

## 15.2. АЛЬДЕГИДЫ

**15.31.** При сжигании газообразного соединения X объемом 2,24 л (н.у.) получили 2,24 л (н.у.) оксида углерода (IV) и воду массой 1,8 г. На горение X было затрачено 3,2 г кислорода. Определите молекулярную формулу вещества.

**Решение.** Записываем схему реакции:



В состав соединения X входят углерод и водород.

Кислород также может входить в его состав, но его наличие требуется установить. Вначале определяем количества атомов водорода и углерода в составе продуктов реакции.

Рассчитываем количество воды:

$$v(H_2O) = m(H_2O) : M(H_2O);$$

$$v(H_2O) = 1,8 : 18 = 0,1 \text{ моль.}$$

Из формулы воды  $H_2O$  следует, что

$$v(H) = 2v(H_2O);$$

$$v(H) = 2 \cdot 0,1 = 0,2 \text{ моль.}$$

Вычисляем количество оксида углерода:

$$v(CO_2) = V(CO_2) : 22,4 \text{ л/моль};$$

$$v(CO_2) = 2,24 : 22,4 = 0,1 \text{ моль.}$$

Согласно формуле оксида

$$v(C) = v(CO_2); v(C) = 0,1 \text{ моль.}$$

Далее определяем наличие кислорода в соединении X. Для этого рассчитываем количество кислорода в составе продуктов реакции:

$$v_1(O) = v(H_2O) + 2v(CO_2);$$

$$v_1(O) = 0,1 + 2 \cdot 0,1 = 0,3 \text{ моль.}$$

Вычисляем количество молекулярного кислорода, вступившего в реакцию:

$$v(O_2) = m(O_2) : M(O_2) = 3,2 : 32 = 0,1 \text{ моль.}$$

Определяем количество атомарного кислорода:

$$\nu_2(\text{O}) = 2\nu(\text{O}_2) = 2 \cdot 0,1 = 0,2 \text{ моль.}$$

Поскольку количество кислорода в составе продуктов реакции больше количества кислорода, затраченного на горение, в состав X входит кислород. Рассчитываем количество кислорода в составе X:

$$\nu(\text{O}) = \nu_1(\text{O}) - \nu_2(\text{O}); \nu(\text{O}) = 0,3 - 0,2 = 0,1 \text{ моль.}$$

И наконец, определяем молекулярную формулу соединения X. Для этого находим количество соединения X:

$$\nu(\text{X}) = V(\text{X}) : 22,4 \text{ л/моль};$$

$$\nu(\text{X}) = 2,24 : 22,4 = 0,1 \text{ моль.}$$

Далее составляем пропорцию:

0,1 моль соединения X содержит 0,1 моль атомов углерода,

1 моль                   »                   »                   n моль                   »

$$n = 1 \text{ моль.}$$

Таким образом, 1 моль X содержит 1 моль атомов углерода. Аналогично рассчитываем содержание водорода и кислорода. В состав 1 моль соединения X входит 2 моль атомов водорода и 1 моль атомов кислорода. Следовательно, формула соединения X —  $\text{CH}_2\text{O}$ .

**15.32.** Имеются два соединения состава  $\text{AB}_3\text{O}$  и  $\text{AB}_4\text{O}$ . Массовая доля кислорода в соединении  $\text{AB}_2\text{O}$  составляет 53,33 %, а относительная плотность паров соединения  $\text{AB}_4\text{O}$  по кислороду равна 1. Определите формулу соединения  $\text{AB}_2\text{O}$ .

**Решение.** Определяем молярную массу  $\text{AB}_2\text{O}$ . Для расчетов выбираем образец  $\text{AB}_2\text{O}$  массой 100 г. Рассчитаем массу кислорода в образце:

$$m(\text{O}) = (m(\text{AB}_2\text{O}) \cdot \omega(\text{O}))/100 \%;$$

$$m(\text{O}) = (100 \cdot 53,33)/100 = 53,33 \text{ г.}$$

Вычисляем количество кислорода:

$$\nu(\text{O}) = m(\text{O})/M(\text{O}); \nu(\text{O}) = 53,33/16 = 3,33 \text{ моль.}$$

Выражаем количество  $\text{AB}_2\text{O}$ :

$$\nu(\text{AB}_2\text{O}) = m(\text{AB}_2\text{O})/M(\text{AB}_2\text{O});$$

$$\nu(\text{AB}_2\text{O}) = 100/M(\text{AB}_2\text{O}).$$

Из формулы  $AB_2O$  следует, что

$$v(AB_2O) = v(O).$$

Подставляем в уравнение значение количеств:

$$100/M(AB_2O) = 3,33.$$

Решаем уравнение:

$$M(AB_2O) = 30 \text{ г/моль.}$$

Рассчитываем молярную массу  $AB_4O$ :

$$M(AB_4O) = M(O_2) \cdot D; M(AB_4O) = 32 \cdot 1 = 32 \text{ г/моль.}$$

Учитывая, что

$$M(AB_4O) = M(A) + 4M(B) + M(O);$$

$$M(AB_2O) = M(A) + 2M(B) + M(O).$$

Составляем систему уравнений:

$$\begin{cases} 32 = M(A) + 4M(B) + 16, \\ 30 = M(A) + 2M(B) + 16. \end{cases}$$

Решаем систему уравнений:

$$M(A) = 12 \text{ г/моль;}$$

$$M(B) = 1 \text{ г/моль.}$$

Следовательно, А — углерод, В — водород.

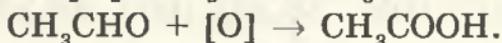
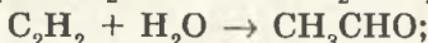
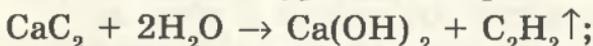
Формула  $AB_2O$  —  $CH_2O$ .

**15.33.** Какая масса пропаналя образуется при взаимодействии 30 г пропанола с избытком оксида меди (II)? Выход альдегида равен 85 %.

Ответ: 24,7 г.

**15.34.** Из 36 г технического карбида кальция получили 24 г уксусной кислоты. Выход кислоты равен 80 %. Определите массовую долю  $CaC_2$  в составе технического карбида кальция.

**Решение.** Составляем уравнения реакций:



В расчетах можно использовать схему:



Рассчитываем массу уксусной кислоты при 100%-ном выходе:

$$m_{\text{теор}}(CH_3COOH) = (m_{\text{практ}}(CH_3COOH) \cdot 100 \%) / \eta(CH_3COOH);$$

$$m_{\text{теор}}(CH_3COOH) = (24 \cdot 100) / 80 = 30 \text{ г.}$$

Вычисляем количество кислоты:

$$v(\text{CH}_3\text{COOH}) = m(\text{CH}_3\text{COOH})/M(\text{CH}_3\text{COOH});$$

$$v(\text{CH}_3\text{COOH}) = 30/60 = 0,5 \text{ моль.}$$

Определяем количество  $\text{CaC}_2$ . Согласно схеме

$$v(\text{CaC}_2) = v(\text{CH}_3\text{COOH});$$

$$v(\text{CaC}_2) = 0,5 \text{ моль.}$$

Находим массу  $\text{CaC}_2$ :

$$m(\text{CaC}_2) = v(\text{CaC}_2) \cdot M(\text{CaC}_2);$$

$$m(\text{CaC}_2) = 0,5 \cdot 64 = 32 \text{ г.}$$

Рассчитываем массовую долю  $\text{CaC}_2$ :

$$\omega(\text{CaC}_2) = \frac{m(\text{CaC}_2)}{m(\text{системы})} \cdot 100 \%;$$

$$\omega(\text{CaC}_2) = (32 \cdot 100)/36 = 89 \%.$$

**15.35.** На гидрирование альдегида было затрачено 2,24 л (н.у.)  $\text{H}_2$ . В результате гидрирования получили 3,2 г спирта. Определите формулу альдегида.

Ответ:  $\text{CH}_2\text{O}$ .

**15.36.** Массовая доля кислорода в составе альдегида равна 0,3636. Определите формулу альдегида.

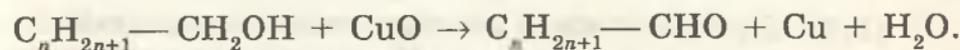
Ответ:  $\text{CH}_3\text{CHO}$ .

**15.37.** Какая масса серебра образуется при взаимодействии 80 г раствора формальдегида (массовая доля — 22 %) с избытком аммиачного раствора оксида серебра?

Ответ: 127 г.

**15.38.** При взаимодействии паров спирта с избытком оксида меди (II) образовалось 6,4 г меди и 4,4 г альдегида. Определите формулу альдегида.

**Решение.** Составляем уравнение реакции:



Рассчитываем количество меди:

$$v(\text{Cu}) = m(\text{Cu})/M(\text{Cu});$$

$$v(\text{Cu}) = 6,4/64 = 0,1 \text{ моль.}$$

Определяем количество альдегида. Согласно уравнению реакции:

$$\begin{aligned}v(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}-\text{CHO}) &= v(\text{Cu}); \\v(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}-\text{CHO}) &= 0,1 \text{ моль.}\end{aligned}$$

Находим молярную массу альдегида:

$$\begin{aligned}M(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}-\text{CHO}) &= m(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}-\text{CHO})/v(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}-\text{CHO}); \\M(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}-\text{CHO}) &= 4,4/0,1 = 44 \text{ г/моль.}\end{aligned}$$

Поскольку

$$M(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}-\text{CHO}) = nM(\text{C}) + (2n+1)M(\text{H}) + M(\text{CHO}),$$

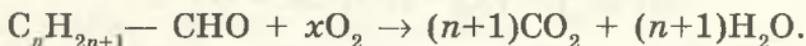
рассчитываем  $n$ :

$$44 = 12n + 2n + 1 + 29; n = 1.$$

Таким образом, формула альдегида  $\text{CH}_3\text{CHO}$ .

**15.39.** При сгорании 5,8 г альдегида образовалось 6,72 л (н.у.)  $\text{CO}_2$ . Определите формулу альдегида.

**Решение.** Составляем уравнение реакции:



Рассчитываем количество оксида углерода:

$$\begin{aligned}v(\text{CO}_2) &= V(\text{CO}_2)/22,4 \text{ л/моль}; \\v(\text{CO}_2) &= 6,72/22,4 = 0,3 \text{ моль.}\end{aligned}$$

Выражаем количество альдегида:

$$\begin{aligned}v(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}-\text{CHO}) &= m(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}-\text{CHO})/M(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}-\text{CHO}); \\v(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}-\text{CHO}) &= 5,8/(14n + 30).\end{aligned}$$

Согласно уравнению реакции

$$(n+1)v(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}-\text{CHO}) = v(\text{CO}_2).$$

В уравнение подставляем значение количеств альдегида и оксида:

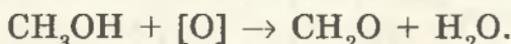
$$(n+1) \cdot 5,8/(14n+30) = 0,3.$$

Решаем уравнение:  $n = 2$ .

Следовательно, формула альдегида —  $\text{C}_2\text{H}_5\text{CHO}$ .

**15.40.** При частичном окислении метанола получили смесь альдегида и спирта. Массовая доля водорода в смеси равна 10 %. Определите массовую долю (в процентах) альдегида в полученной смеси.

**Решение.** При окислении метанола образуется формальдегид:



Выбираем исходный образец спирта количеством вещества 1 моль. Количество формальдегида в конечной смеси обозначаем  $x$ , тогда количество метанола равно  $(1 - x)$ .

Выражаем массы  $\text{CH}_2\text{O}$  и  $\text{CH}_3\text{OH}$  в смеси:

$$m(\text{CH}_2\text{O}) = \nu(\text{CH}_2\text{O}) \cdot M(\text{CH}_2\text{O}); m(\text{CH}_2\text{O}) = 30x;$$

$$m(\text{CH}_3\text{OH}) = \nu(\text{CH}_3\text{OH}) \cdot M(\text{CH}_3\text{OH});$$

$$m(\text{CH}_3\text{OH}) = 32(1 - x).$$

Определяем количество водорода в составе альдегида. Из формулы формальдегида  $\text{CH}_2\text{O}$  следует, что

$$\nu_1(\text{H}) = 2\nu(\text{CH}_2\text{O}); \nu_1(\text{H}) = 2x.$$

Выражаем его массу:

$$m_1(\text{H}) = \nu_1(\text{H}) \cdot M(\text{H}); m_1(\text{H}) = 2x \cdot 1 = 2x.$$

Определяем количество водорода в составе спирта. В соответствии с формулой метанола  $\text{CH}_3\text{OH}$ :

$$\nu_2(\text{H}) = 4\nu(\text{CH}_3\text{OH}); \nu_2(\text{H}) = 4(1 - x).$$

Выражаем его массу:

$$m_2(\text{H}) = \nu_2(\text{H}) \cdot M(\text{H}); m_2(\text{H}) = 4(1 - x) \cdot 1 = 4(1 - x).$$

В уравнение

$$\omega(\text{H}) = \frac{m_1(\text{H}) + m_2(\text{H})}{m(\text{CH}_2\text{O}) + m(\text{CH}_3\text{OH})} \cdot 100 \%$$

подставляем известные значения:

$$10 = \frac{2x + 4(1 - x)}{30x + 32(1 - x)} \cdot 100.$$

Решаем уравнение:

$$x = \nu(\text{CH}_2\text{O}) = 0,44 \text{ моль.}$$

Рассчитываем массу формальдегида:

$$m(\text{CH}_2\text{O}) = 30 \cdot 0,44 = 13,2 \text{ г.}$$

Вычисляем массу метанола:

$$m(\text{CH}_3\text{OH}) = 32(1 - 0,44) = 17,9 \text{ г.}$$

Находим массовую долю формальдегида:

$$\omega(\text{CH}_2\text{O}) = \frac{m(\text{CH}_2\text{O})}{m(\text{CH}_2\text{O}) + m(\text{CH}_3\text{OH})} \cdot 100 \%;$$

$$\omega(\text{CH}_2\text{O}) = \frac{13,2}{13,2 + 17,9} \cdot 100 = 42,4 \%.$$

15.41. При частичном окислении этанола получили смесь альдегида и спирта. Массовая доля водорода в смеси равна 10 %. Определите массовую долю (в процентах) альдегида в полученной смеси.

Ответ: 77,3 %.

### 15.3. КАРБОНОВЫЕ КИСЛОТЫ

15.42. В результате горения соединения X массой 16,4 г образовалось 10,6 г карбоната натрия, 6,72 л (н.у.) оксида углерода (IV) и 5,4 г воды. Определите химическую формулу вещества, если известно, что его молекулярная масса равна 82 г/моль.

Ответ:  $\text{CH}_3\text{COONa}$ .

15.43. На нейтрализацию насыщенной одноосновной кислоты было затрачено 4 г NaOH. В результате реакции получили 9,6 г соли. Определите формулу кислоты.

Ответ:  $\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}$ .

15.44. На нейтрализацию насыщенной одноосновной кислоты массой 6 г было затрачено 2,24 л (н.у.)  $\text{NH}_3$ . Определите формулу кислоты.

Ответ:  $\text{CH}_3\text{COOH}$ .

15.45. Газ, образовавшийся при действии избытка аммиачного раствора оксида серебра на раствор муравьиной кислоты массой 80 г с массовой долей  $\text{HCOOH}$  10 %, пропустили через избыток раствора  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Определите массу осадка.

Ответ: 17,4 г.

15.46. К раствору уксусной кислоты массой 80 г добавили избыток карбоната натрия. В результате реакции выделился газ объемом 4,48 л (н.у.). Определите массовую долю (в процентах) уксусной кислоты в исходном растворе.

Ответ: 30 %.

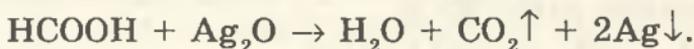
15.47. Плотность паров предельной одноосновной карбоновой кислоты по водороду равна 37. Определите формулу кислоты.

Ответ:  $\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}$ .

15.48. На нейтрализацию смеси муравьиной и уксусной кислот затратили 11,2 г KOH. При взаимо-

действии такой же смеси с избытком аммиачного раствора оксида серебра выпал металлический осадок массой 21,6 г. Определите массу уксусной кислоты в смеси.

**Решение.** В данном случае оксид серебра реагирует с образованием осадка только с муравьиной кислотой:



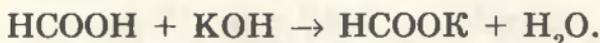
Рассчитываем количество серебра:

$$v(\text{Ag}) = m(\text{Ag})/M(\text{Ag}); v(\text{Ag}) = 21,6/108 = 0,2 \text{ моль.}$$

Определяем количество муравьиной кислоты. Согласно уравнению реакции

$$\begin{aligned}v(\text{НСООН}) &= 0,5v(\text{Ag}); \\v(\text{НСООН}) &= 0,5 \cdot 0,2 = 0,1 \text{ моль.}\end{aligned}$$

Составляем уравнение нейтрализации муравьиной кислоты:



Рассчитываем количество гидроксида калия, израсходованного на ее нейтрализацию. Из уравнения реакции следует, что

$$v_1(\text{KOH}) = v(\text{НСООН}); v_1(\text{KOH}) = 0,1 \text{ моль.}$$

Вначале вычисляем массу гидроксида калия, затраченного на нейтрализацию НСООН:

$$\begin{aligned}m_1(\text{KOH}) &= v_1(\text{KOH}) \cdot M(\text{KOH}); \\m_1(\text{KOH}) &= 0,1 \cdot 56 = 5,6 \text{ г.}\end{aligned}$$

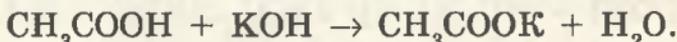
Затем находим массу KOH, затраченного на нейтрализацию уксусной кислоты:

$$\begin{aligned}m_2(\text{KOH}) &= m(\text{KOH}) - m_1(\text{KOH}); \\m_2(\text{KOH}) &= 11,2 - 5,6 = 5,6 \text{ г.}\end{aligned}$$

Рассчитываем его количество:

$$\begin{aligned}v_2(\text{KOH}) &= m_2(\text{KOH})/M(\text{KOH}); \\v_2(\text{KOH}) &= 5,6/56 = 0,1 \text{ моль.}\end{aligned}$$

Уксусная кислота реагирует с гидроксидом калия по уравнению:



Определяем количество уксусной кислоты. Согласно уравнению реакции

$$v(\text{CH}_3\text{COOH}) = v_2(\text{KOH}); v(\text{CH}_3\text{COOH}) = 0,1 \text{ моль.}$$

Находим ее массу в смеси:

$$m(\text{CH}_3\text{COOH}) = \nu(\text{CH}_3\text{COOH}) \cdot M(\text{CH}_3\text{COOH});$$

$$m(\text{CH}_3\text{COOH}) = 0,1 \cdot 60 = 6 \text{ г.}$$

**15.49.** Какая масса метана образуется при нагревании 6 г уксусной кислоты с избытком гидроксида натрия? Выход метана равен 85 %.

Ответ: 1,36 г.

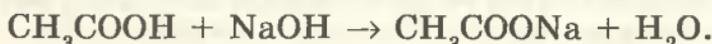
**15.50.** На нейтрализацию смеси этилового спирта и уксусной кислоты затратили раствор гидроксида натрия, содержащий 5 г NaOH. В результате реакции между компонентами такой же смеси получили 0,1 моль сложного эфира. Определите массовую долю (в процентах) кислоты в смеси.

**Решение.** Рассчитаем количество гидроксида натрия:

$$\nu(\text{NaOH}) = m(\text{NaOH})/M(\text{NaOH});$$

$$\nu(\text{NaOH}) = 5/40 = 0,125 \text{ моль.}$$

Составляем уравнение реакции нейтрализации уксусной кислоты:



Определяем количество уксусной кислоты в смеси. Согласно уравнению реакции:

$$\nu(\text{CH}_3\text{COOH}) = \nu(\text{NaOH});$$

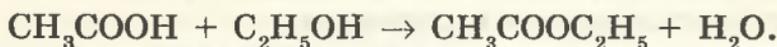
$$\nu(\text{CH}_3\text{COOH}) = 0,125 \text{ моль.}$$

Рассчитываем массу уксусной кислоты:

$$m(\text{CH}_3\text{COOH}) = \nu(\text{CH}_3\text{COOH}) \cdot M(\text{CH}_3\text{COOH});$$

$$m(\text{CH}_3\text{COOH}) = 0,125 \cdot 60 = 7,5 \text{ г.}$$

Этиловый спирт и уксусная кислота реагируют по уравнению:



Определяем количества прореагировавших спирта и кислоты:

$$\nu(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = \nu(\text{эфира}); \nu(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 0,1 \text{ моль};$$

$$\nu_1(\text{CH}_3\text{COOH}) = \nu(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}); \nu_1(\text{CH}_3\text{COOH}) = 0,1 \text{ моль.}$$

Таким образом, в реакцию вступило 0,1 моль спирта и 0,1 моль кислоты. В исходной смеси содержится 0,125 моль кислоты, следовательно, она находится в

избытке. Это значит, что этанол прореагировал полностью. Рассчитываем его массу:

$$m(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = \nu(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) \cdot M(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH});$$

$$m(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 0,1 \cdot 46 = 4,6 \text{ г.}$$

Находим массовую долю кислоты в смеси:

$$\omega(\text{CH}_3\text{COOH}) = \frac{m(\text{CH}_3\text{COOH})}{m(\text{CH}_3\text{COOH}) + m(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})} \cdot 100 \%;$$

$$\omega(\text{CH}_3\text{COOH}) = \frac{7,5}{7,5 + 4,6} \cdot 100 = 62 \%.$$

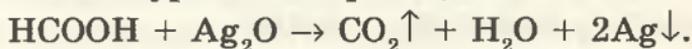
**15.51.** Какую массу монохлоруксусной кислоты можно получить из 6,4 г карбида кальция, если выход кислоты равен 80 %?

Ответ: 7,56 г.

**15.52.** На нейтрализацию смеси двух предельных одноосновных карбоновых кислот массой 12 г было затрачено 11,2 г КОН. При взаимодействии исходной смеси с избытком аммиачного раствора оксида серебра образовалось 21,6 г металлического осадка. Определите формулы кислот.

**Решение.** С аммиачным раствором оксида серебра реагирует только муравьиная кислота. Следовательно, формула первой кислоты  $\text{НСООН}$ .

Составляем уравнение реакции:



Рассчитываем количество серебра:

$$\nu(\text{Ag}) = m(\text{Ag})/M(\text{Ag}); \nu(\text{Ag}) = 21,6/108 = 0,2 \text{ моль.}$$

Определяем количество муравьиной кислоты. Согласно уравнению реакции

$$\nu(\text{НСООН}) = 0,5\nu(\text{Ag});$$

$$\nu(\text{НСООН}) = 0,2 \cdot 0,5 = 0,1 \text{ моль.}$$

Рассчитываем массу муравьиной кислоты в смеси:

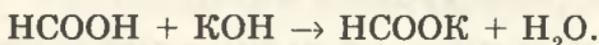
$$m(\text{НСООН}) = \nu(\text{НСООН}) \cdot M(\text{НСООН});$$

$$m(\text{НСООН}) = 0,1 \cdot 46 = 4,6 \text{ г.}$$

Находим массу второй кислоты:

$$m = 12 - 4,6 = 7,4 \text{ г.}$$

Составляем уравнение нейтрализации муравьиной кислоты:



Определяем количество гидроксида калия, затраченного на нейтрализацию муравьиной кислоты. В соответствии с уравнением реакции

$$\nu_1(\text{КОН}) = \nu(\text{НСООН}); \nu_1(\text{КОН}) = 0,1 \text{ моль}.$$

Рассчитываем его массу:

$$m_1(\text{КОН}) = \nu_1(\text{КОН}) \cdot M(\text{КОН});$$

$$m_1(\text{КОН}) = 0,1 \cdot 56 = 5,6 \text{ г}.$$

Вычисляем массу гидроксида калия, затраченного на нейтрализацию второй кислоты:

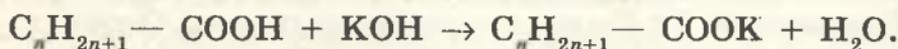
$$m_2(\text{КОН}) = 11,2 - 5,6 = 5,6 \text{ г}.$$

Находим его количество:

$$\nu_2(\text{КОН}) = m_2(\text{КОН})/M(\text{КОН});$$

$$\nu_2(\text{КОН}) = 5,6/56 = 0,1 \text{ моль}.$$

Составляем уравнение реакции нейтрализации неизвестной кислоты:



Выражаем количество кислоты:

$$\nu(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{—СООН}) = m(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{—СООН})/M(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{—СООН});$$

$$\nu(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{—СООН}) = 7,4/M(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{—СООН}).$$

Согласно уравнению реакции

$$\nu(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{—СООН}) = \nu_2(\text{КОН}).$$

Переписываем уравнение, подставив значения количества кислоты и гидроксида:

$$7,4/M(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{—СООН}) = 0,1.$$

Решаем уравнение

$$M(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{—СООН}) = 74 \text{ г/моль}.$$

С учетом того, что

$$M(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{—СООН}) = nM(\text{C}) + (2n+1)M(\text{H}) + M(\text{СООН})$$

рассчитываем  $n$ :

$$74 = 12n + 2n + 1 + 45;$$

$$n = 2.$$

Следовательно, формула второй кислоты –  $C_2H_5COOH$ .

**15.53.** 60 г смеси, содержащей уксусную кислоту, метиловый спирт и этаналь, обработали избытком раствора карбоната натрия. В результате реакции выделился газ объемом 5,6 л (н.у.). К полученному раствору добавили избыток аммиачного раствора оксида серебра, в результате чего выпал осадок серебра массой 108 г. Определите массу метанола в смеси.

Ответ: 8 г.

**15.54.** При частичном окислении ацетальдегида получили смесь альдегида и кислоты. Массовая доля кислорода в смеси равна 40 %. Определите массовую долю (в процентах) кислоты в полученной смеси.

Ответ: 21,5 %.

**15.55.** При сгорании 6 г предельной одноосновной карбоновой кислоты образовалось 4,48 л (н.у.)  $CO_2$ . Определите формулу кислоты.

Ответ:  $CH_3COOH$ .

#### 15.4. СЛОЖНЫЕ ЭФИРЫ

**15.56.** Какая масса этилацетата образуется при взаимодействии 12 г уксусной кислоты и 10 г этанола? Выход эфира равен 85 %.

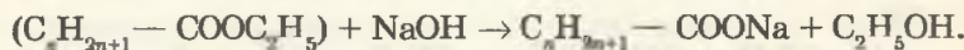
Ответ: 15 г.

**15.57.** Какой объем раствора  $NaOH$  с массовой долей 40 % и плотностью 1,4 г/мл необходим для щелочного гидролиза 148 г метилацетата.

Ответ: 143 мл.

**15.58.** Для гидролиза 8,8 г этилового эфира неизвестной предельной одноосновной карбоновой кислоты было затрачено 4 г  $NaOH$ . Определите формулу неизвестной кислоты.

**Решение.** Запишем уравнение реакции:



Рассчитываем количество гидроксида натрия:

$$v(NaOH) = m(NaOH)/M(NaOH);$$

$$v(NaOH) = 4/40 = 0,1 \text{ моль.}$$

Выражаем количество эфира:

$$\nu(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}-\text{COOC}_2\text{H}_5) = m(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}-\text{COOC}_2\text{H}_5) / M(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}-\text{COOC}_2\text{H}_5);$$

$$\nu(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}-\text{COOC}_2\text{H}_5) = 8,8 / M(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}-\text{COOC}_2\text{H}_5).$$

Согласно уравнению реакции

$$\nu(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}-\text{COOC}_2\text{H}_5) = \nu(\text{NaOH}).$$

В последнее уравнение подставляем значения количеств эфира и гидроксида:

$$8,8 / M(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}-\text{COOC}_2\text{H}_5) = 0,1.$$

Решаем уравнение:

$$M(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}-\text{COOC}_2\text{H}_5) = 88 \text{ г/моль}.$$

С учетом того, что

$$M(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}-\text{COOC}_2\text{H}_5) = nM(\text{C}) + (2n + 1)M(\text{H}) + M(\text{COOC}_2\text{H}_5),$$

рассчитываем  $n$ :

$$88 = 12n + 2n + 1 + 73;$$

$$n = 1.$$

Таким образом, формула кислоты —  $\text{CH}_3\text{COOH}$ .

**15.59.** Массовая доля кислорода в составе сложного эфира, образованного предельным одноатомным спиртом и предельной одноосновной карбоновой кислотой, равна 43,2 %. При взаимодействии 4,6 г спирта, входящего в состав эфира, с избытком натрия образуется 1,12 л (н.у.)  $\text{H}_2$ . Определите формулу кислоты, входящей в состав эфира.

**Решение.** Рассчитываем количество водорода:

$$\nu(\text{H}_2) = m(\text{H}_2) / M(\text{H}_2);$$

$$\nu(\text{H}_2) = 1,12 / 22,4 = 0,05 \text{ моль}.$$

Поскольку спирт с натрием реагирует по уравнению

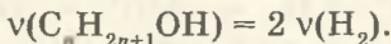


выражаем его количество:

$$\nu(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{OH}) = m(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{OH}) / M(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{OH});$$

$$\nu(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{OH}) = 4,6 / M(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{OH}).$$

Согласно уравнению реакции



Переписываем уравнение, подставив значения количеств веществ спирта и водорода:

$$4,6/M(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{OH}) = 2 \cdot 0,05.$$

Решаем уравнение:

$$M(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{OH}) = 46 \text{ г/моль}.$$

С учетом того, что

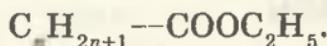
$$M(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{OH}) = nM(\text{C}) + (2n+1)M(\text{H}) + M(\text{OH}),$$

рассчитываем  $n$ :

$$46 = 12n + 2n + 1 + 17; n = 2.$$

Следовательно, формула спирта —  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ .

Формула эфира в общем виде будет выглядеть так:



Выбираем образец эфира массой 100 г. Вычисляем массу кислорода в составе образца:

$$m(\text{O}) = \omega(\text{O}) \cdot m(\text{образца})/100 \%;$$

$$m(\text{O}) = 43,2 \cdot 100/100 = 43,2 \text{ г}.$$

Находим количество кислорода:

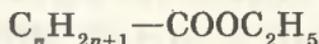
$$\nu(\text{O}) = m(\text{O})/M(\text{O}); \nu(\text{O}) = 43,2/16 = 2,7 \text{ моль}.$$

Выражаем количество эфира:

$$\nu(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{—COOC}_2\text{H}_5) = m(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{—COOC}_2\text{H}_5)/M(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{—COOC}_2\text{H}_5);$$

$$\nu(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{—COOC}_2\text{H}_5) = 100/M(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{—COOC}_2\text{H}_5).$$

Из формулы эфира



следует, что

$$\nu(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{—COOC}_2\text{H}_5) = 0,5 \nu(\text{O}).$$

В уравнение подставляем значения количеств эфира и кислорода:

$$100/M(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{—COOC}_2\text{H}_5) = 0,5 \cdot 2,7.$$

Решаем уравнение:

$$M(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{—COOC}_2\text{H}_5) = 74 \text{ г/моль}.$$

С учетом того, что

$$M(C_n H_{2n+1} - COOC_2 H_5) = nM(C) + (2n + 1)M(H) + \\ + M(COOC_2 H_5),$$

рассчитываем  $n$ :

$$74 = 12n + 2n + 1 + 73;$$

$$n = 0.$$

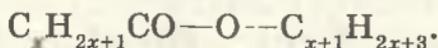
Тогда формула кислоты имеет вид — HCOOH.

**15.60.** Относительная плотность по водороду паров сложного эфира, образованного предельным одноатомным спиртом и предельной одноосновной карбоновой кислотой, равна 37. При взаимодействии 6,4 г спирта, входящего в состав эфира, с избытком натрия образуется 2,24 л (н.у.)  $H_2$ . Определите формулу кислоты, входящей в состав эфира.

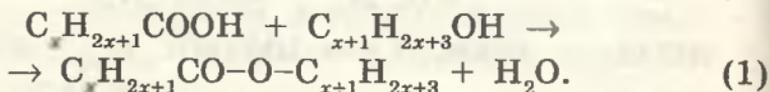
Ответ:  $CH_3COOH$ .

**15.61.** Сложный эфир образован одноатомным предельным спиртом и одноосновной предельной карбоновой кислотой (количество атомов углерода в составе спирта равно количеству атомов углерода в составе кислоты). При получении этого эфира из кислоты и спирта образовалось 36 г воды. При сжигании синтезированного эфира выделилось 179,2 л (н.у.)  $CO_2$ . Определите формулу эфира.

**Решение.** Согласно условию формула эфира имеет вид



Составляем уравнение реакции образования эфира:

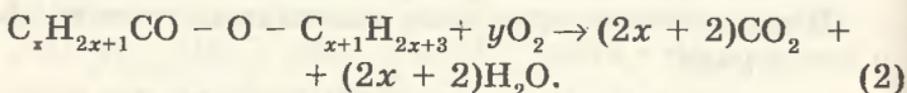


Рассчитываем количество воды:

$$v(H_2O) = m(H_2O)/M(H_2O);$$

$$v(H_2O) = 36/18 = 2 \text{ моль.}$$

Записываем уравнение реакции горения эфира:



Вычисляем количество оксида углерода:

$$v(CO_2) = V(CO_2)/22,4 \text{ л/моль};$$

$$v(CO_2) = 179,2/22,4 = 8 \text{ моль.}$$

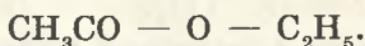
Определяем количество эфира. Согласно уравнению реакции (1)

$$\nu(\text{эфира}) = \nu(\text{H}_2\text{O}) = 2 \text{ моль.}$$

Рассчитываем количество оксида углерода, образующегося при сгорании 1 моль эфира. Для этого составим пропорцию:

$$\begin{array}{l} \text{из 2 моль эфира образуется 8 моль CO}_2; \\ \text{» 1 моль » » у моль CO}_2; \\ y = (8 \cdot 1)/2 = 4 \text{ моль.} \end{array}$$

Так как количество образующегося оксида углерода равно количеству атомов углерода в составе эфира, 1 моль эфира содержит 4 моль атомов углерода. Согласно условию число атомов углерода в составе кислоты равно числу атомов углерода в составе спирта. Следовательно, эфир образован уксусной кислотой и этанолом. Формула эфира



**15.62.** Молекула сложного эфира образована одноатомным предельным спиртом и одноосновной предельной карбоновой кислотой (количество атомов углерода в составе спирта в 2 раза больше количества атомов углерода в составе кислоты). При получении этого эфира из кислоты и спирта образовалось 9 г воды. При сжигании синтезированного эфира выделилось 33,6 л (н.у.)  $\text{CO}_2$ . Определите формулу эфира.

Ответ:  $\text{HCO}-\text{O}-\text{C}_2\text{H}_5$ .

**15.63.** При нагревании 7,8 г смеси метилового спирта и муравьиной кислоты получено 4 г эфира. При сжигании исходной смеси образуется 4,48 л (н.у.)  $\text{CO}_2$ . Определите выход эфира.

Ответ: 67 %.

**15.64.** При нагревании 10,6 г смеси этилового спирта и уксусной кислоты получено 8 г эфира. При сжигании исходной смеси образуется 9 г  $\text{H}_2\text{O}$ . Определите выход эфира.

Ответ: 91 %.

**15.65.** Какую массу глицерина можно получить из 500 г тристеарата? Выход глицерина равен 85 %.

Ответ: 44,2 г.

15.66. Какую массу стеариновой кислоты можно получить из 300 г тристеарата? Выход глицерина равен 85 %.

Ответ: 244 г.

## 15.5. УГЛЕВОДЫ

15.67. При сжигании соединения X массой 0,9 г получили оксид углерода (IV) массой 1,32 г и воду массой 0,54 г. Относительная плотность паров этого соединения по водороду равна 90. Определите формулу вещества.

Ответ:  $C_6H_{12}O_6$ .

15.68. Какая масса этанола образуется в результате спиртового брожения глюкозы массой 360 г? Выход этанола равен 90 %.

Ответ: 166 г.

15.69. Какая масса молочной кислоты образуется в результате молочнокислого брожения глюкозы массой 90 г? Выход кислоты равен 80 %.

Ответ: 72 г.

15.70. Какая масса осадка образуется при пропускании газа, полученного при спиртовом брожении глюкозы массой 200 г, через избыток раствора гидроксида кальция? Выход газа равен 90 %.

Ответ: 200 г.

15.71. К глюкозе, полученной из 16,2 г крахмала, добавили избыток аммиачного раствора оксида серебра. В результате реакции получили 20 г металлического осадка. Определите выход глюкозы, если выход во второй реакции равен 100 %.

Ответ: 93 %.

15.72. Какой объем (в миллилитрах) раствора этилового спирта с массовой долей  $C_2H_5OH$  40 % получается при спиртовом брожении из 3000 г глюкозы? Плотность раствора 0,95 г/л. Выход этанола 80 %.

Ответ: 3228 мл.

15.73. Какую массу картофеля (в килограммах) нужно взять для получения 50 л раствора этанола с массовой долей  $C_2H_5OH$  40 %? Выход этанола 80 %,

массовая доля крахмала в картофеле 20 %, плотность раствора — 0,95 кг/л.

**Решение.** Рассчитываем массу раствора :

$$m(\text{р-ра}) = \rho(\text{р-ра}) \cdot V(\text{р-ра});$$
$$m(\text{р-ра}) = 50 \cdot 0,95 = 47,5 \text{ кг.}$$

Вычисляем массу этанола в растворе:

$$m(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = (\omega(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) \cdot m(\text{р-ра}))/100 \%;$$
$$m(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = (40 \cdot 47,5)/100 = 19 \text{ кг.}$$

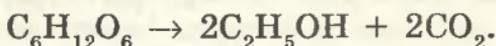
Находим массу этанола при 100% -ном выходе:

$$m_{\text{теор}}(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = \frac{m_{\text{ирракт}}(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})}{\eta} \cdot 100 \%;$$
$$m_{\text{теор}}(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = (19 \cdot 100)/80 = 23,75 \text{ кг.}$$

Рассчитываем количество этанола:

$$v(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = m(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})/M(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH});$$
$$v(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 23750/46 = 516 \text{ моль.}$$

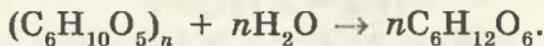
Записываем уравнение реакции спиртового брожения глюкозы:



Определяем количество глюкозы. Согласно уравнению реакции

$$v(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 0,5v(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH});$$
$$v(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 0,5 \cdot 516 = 258 \text{ моль.}$$

Глюкоза образуется в результате гидролиза крахмала:



Согласно уравнению реакции

$$v(\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_5) = v(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6); v(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5) = 258 \text{ моль.}$$

Вычисляем массу крахмала:

$$m(\text{крахмала}) = v(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5) \cdot M(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5);$$
$$m(\text{крахмала}) = 162 \cdot 258 = 41800 \text{ г} = 41,8 \text{ кг.}$$

Определяем массу картофеля:

$$m(\text{картофеля}) = \frac{m(\text{крахмала})}{\omega(\text{крахмала})} \cdot 100 \%;$$

$$m(\text{картофеля}) = (41,8 \cdot 100)/20 = 209 \text{ кг.}$$

15.74. Какую массу древесины (в килограммах) нужно взять для получения 40 л раствора этанола с массовой долей  $C_2H_5OH$  95 %? Выход этанола составляет 80 %, массовая доля целлюлозы в древесине — 50 %, плотность раствора — 0,8 кг/л.

Ответ: 134 кг.

## Глава 16. АЗОТСОДЕРЖАЩИЕ ОРГАНИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ

### 16.1. АМИНЫ

16.1. После сжигания органического соединения X массой 9 г образовалось 2,24 л (н.у.) азота, 8,96 л (н.у.) оксида углерода (IV) и 12,6 г воды. Определите химическую формулу соединения X, если известно, что в составе 1 моль этого соединения содержится 1 моль атомов азота.

**Решение.** В состав соединения X входят азот, углерод и водород, так как они обнаруживаются в составе продуктов его горения. Кислород также может входить в его состав, но его наличие нужно установить.

Находим количество воды:

$$\begin{aligned}v(H_2O) &= m(H_2O) : M(H_2O); \\v(H_2O) &= 12,6 : 18 = 0,7 \text{ моль.}\end{aligned}$$

Из формулы воды следует, что

$$\begin{aligned}v(H) &= 2v(H_2O); \\v(H) &= 2 \cdot 0,7 = 1,4 \text{ моль.}\end{aligned}$$

Рассчитываем массу водорода:

$$m(H) = v(H) \cdot M(H); m(H) = 1,4 \cdot 1 = 1,4 \text{ г.}$$

Определяем количество оксида углерода:

$$\begin{aligned}v(CO_2) &= V(CO_2) : 22,4 \text{ л/моль}; \\v(CO_2) &= 8,96 : 22,4 = 0,4 \text{ моль.}\end{aligned}$$

Согласно формуле оксида  $CO_2$ :

$$v(C) = v(CO_2); v(C) = 0,4 \text{ моль.}$$

Вычисляем массу углерода:

$$m(C) = v(C) \cdot M(C); m(C) = 0,4 \cdot 12 = 4,8 \text{ г.}$$

Рассчитываем количество молекулярного азота:

$$\begin{aligned}v(\text{N}_2) &= V(\text{N}_2) : 22,4 \text{ л/моль}; \\v(\text{N}_2) &= 2,24 : 22,4 = 0,1 \text{ моль}.\end{aligned}$$

Находим количество атомарного азота:

$$\begin{aligned}v(\text{N}) &= 2v(\text{N}_2); \\v(\text{N}) &= 2 \cdot 0,1 = 0,2 \text{ моль}.\end{aligned}$$

Вычисляем его массу:

$$\begin{aligned}m(\text{N}) &= v(\text{N}) \cdot M(\text{N}); \\m(\text{N}) &= 0,2 \cdot 14 = 2,8 \text{ г}.\end{aligned}$$

Устанавливаем наличие кислорода в составе соединения X. Для этого определяем суммарную массу азота, углерода и водорода:

$$m(\text{N}) + m(\text{C}) + m(\text{H}) = 2,8 + 4,8 + 1,4 = 9 \text{ г}.$$

Известно, что масса соединения X также равна 9 г. Следовательно, в состав X кислород не входит. Определяем формулу соединения X. С этой целью находим соотношение количеств углерода, водорода и азота:

$$v(\text{C}) : v(\text{H}) : v(\text{N}) = 0,4 : 1,4 : 0,2 = 2 : 7 : 1.$$

Поскольку в состав 1 моль соединения X входит 1 моль атомов азота, его формула будет иметь вид  $\text{C}_2\text{H}_7\text{N}$  или  $\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_2$ .

**16.2.** В результате горения неизвестного соединения X, плотность паров которого по водороду равна 15,5, образовалось 2,24 л азота (н.у.), 4,48 л (н.у.) оксида углерода (IV) и 9 г воды. На горение было израсходовано 14,4 г кислорода. Определите формулу этого соединения.

**Решение.** Рассчитываем молекулярную массу соединения X.

$$M(\text{X}) = D \cdot M(\text{H}_2); M(\text{X}) = 15,5 \cdot 2 = 31 \text{ г/моль}.$$

Вычисляем количество воды:

$$\begin{aligned}v(\text{H}_2\text{O}) &= m(\text{H}_2\text{O}) : M(\text{H}_2\text{O}); \\v(\text{H}_2\text{O}) &= 9 : 18 = 0,5 \text{ моль}.\end{aligned}$$

Находим количество атомарного водорода:

$$v(\text{H}) = 2v(\text{H}_2\text{O}); v(\text{H}) = 2 \cdot 0,5 = 1 \text{ моль}.$$

Рассчитываем количество оксида углерода:

$$\begin{aligned}v(\text{CO}_2) &= V(\text{CO}_2) : 22,4 \text{ л/моль}; \\v(\text{CO}_2) &= 4,48 : 22,4 = 0,2 \text{ моль}.\end{aligned}$$

Количество углерода в его составе равно:

$$v(\text{C}) = v(\text{CO}_2); v(\text{C}) = 0,2 \text{ моль};$$

Находим количество молекулярного азота:

$$\begin{aligned}v(\text{N}_2) &= V(\text{N}_2) : 22,4 \text{ л/моль}; \\v(\text{N}_2) &= 2,24 : 22,4 = 0,1 \text{ моль}.\end{aligned}$$

Количество атомарного азота в 2 раза больше количества молекулярного:

$$v(\text{N}) = 2v(\text{N}_2); v(\text{N}) = 2 \cdot 0,1 = 0,2 \text{ моль}.$$

Определяем наличие кислорода в составе соединения X. Для этого находим количество атомарного кислорода в составе продуктов реакции:

$$\begin{aligned}v_1(\text{O}) &= v(\text{H}_2\text{O}) + 2v(\text{CO}_2); \\v_1(\text{O}) &= 0,5 + 2 \cdot 0,2 = 0,9 \text{ моль}.\end{aligned}$$

Рассчитываем количество молекулярного кислорода, вступившего в реакцию:

$$\begin{aligned}v(\text{O}_2) &= V(\text{O}_2) : 22,4 \text{ л/моль}; \\v(\text{O}_2) &= 14,4 : 32 = 0,45 \text{ моль}.\end{aligned}$$

Тогда количество атомарного кислорода равно:

$$v_2(\text{O}) = 2v(\text{O}_2) = 2 \cdot 0,45 = 0,9 \text{ моль}.$$

Поскольку  $v_1(\text{O}) = v_2(\text{O})$ , кислород не входит в состав соединения X.

Определяем формулу соединения X. Для этого находим соотношение

$$v(\text{C}) : v(\text{H}) : v(\text{N}) = 0,2 : 1 : 0,2 = 1 : 5 : 1.$$

Следовательно, простейшая формула соединения будет иметь вид  $\text{CH}_5\text{N}$ . Молярная масса  $\text{CH}_5\text{N}$  равна 31 г/моль, молярная масса соединения X также равна 31 г/моль. Таким образом, формула соединения X —  $\text{CH}_5\text{N}$  или  $\text{CH}_3\text{NH}_2$ .

**16.3.** В результате горения 0,4 моль неизвестного вещества X образовалось 0,4 моль  $\text{CO}_2$ , 4,48 л  $\text{N}_2$  (н.у.) и

18 г воды. На горение было затрачено 0,9 моль  $O_2$ . Определите формулу соединения X.

Ответ:  $CH_3NH_2$ .

16.4. Массовая доля азота в составе амина равна 0,452. Определите формулу амина.

Ответ:  $CH_5N$  или  $CH_3NH_2$ .

16.5. Массовая доля Cl в составе соли, образованной первичным амином и хлороводородом, равна 0,4356. Определите формулу амина.

Ответ:  $C_2H_5NH_2$ .

16.6. Смесь этана и метиламина объемом 4,48 л (н.у.) сожгли. Образовавшийся газ пропустили через избыток раствора  $Ca(OH)_2$ . При этом образовался осадок массой 30 г. Определите объем (н.у.) метиламина в смеси.

Ответ 2,24 л.

16.7. На нейтрализацию водного раствора метиламина затратили 80 г соляной кислоты с массовой долей  $HCl$  10 %. Определите массу метиламина в растворе.

Ответ: 6,8 г.

16.8. Анилин получили из карбида кальция в четыре стадии. Масса  $CaC_2$  равна 128 г. Потери составили 15 %. Определите массу полученного анилина.

Ответ: 52,7 г.

16.9. Из бензола массой 15,6 г получили 16 г анилина. Определите выход (в процентах) анилина.

Ответ: 86 %.

16.10. Какую массу бромной воды (в граммах) с массовой долей брома 4 % нужно взять для получения 2,4,6-триброманилина из 18,6 г анилина?

Ответ: 2400 г.

16.11. Через 20 г раствора анилина в бензоле пропустили избыток хлороводорода. В результате реакции образовалось 6 г хлорида фениламмония. Определите массовую (в процентах) долю анилина в растворе.

Ответ: 21,5 %.

## 16.2. АМИНОКИСЛОТЫ

16.12. Массовая доля кислорода в составе сложного эфира, образованного 2-аминопропионовой кислотой, равна 0,2735. Определите формулу эфира.

Ответ:  $\text{CH}_3\text{—CHNH}_2\text{—CO—O—C}_2\text{H}_5$ .

16.13. Какой объем раствора гидроксида натрия с массовой долей NaOH 15 % и плотностью 1,16 г/мл потребуется для нейтрализации раствора аминокислотной кислоты массой 10 г с массовой долей кислоты 6 %?

Ответ: 1,84 мл.

16.14. Какая масса раствора соляной кислоты с массовой долей HCl 5 % потребуется для нейтрализации раствора  $\alpha$ -аминопропионовой кислоты массой 20 г с массовой долей кислоты 5 %?

Ответ: 8,2 г.

16.15. Какой объем аммиака (н.у.) прореагирует с раствором хлоруксусной кислоты (массовая доля 10 %) массой 20 г с образованием аминокислотной кислоты и хлорида аммония?

Ответ: 0,94 л.

16.16. Какая масса аминокислотной кислоты будет получена из карбида кальция в пять стадий? Масса  $\text{CaC}_2$  равна 128 г. Потери составили 15 %.

Ответ: 127,5 г.

16.17. На нейтрализацию смеси уксусной и аминокислотной кислот массой 13,5 г затратили 8 г NaOH. Определите массу аминокислотной кислоты в растворе.

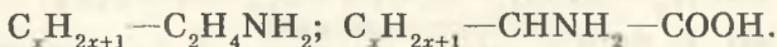
Ответ: 7,5 г.

16.18. Со смесью аминокислотной кислоты и этиламина массой 12 г прореагировало 7,3 г HCl. Определите массу аминокислотной кислоты в смеси.

Ответ: 7,5 г.

16.19. С 14,8 г смеси первичного амина и  $\alpha$ -аминокислоты прореагировало 0,2 моль HCl. Количество амина в смеси равно количеству кислоты. Кислота и амин содержат одинаковое число атомов углерода. Определите массу аминокислоты в смеси.

**Решение.** В состав  $\alpha$ -аминокислоты не может входить менее двух атомов углерода. Следовательно, и в составе амина должно содержаться 2 или более атомов углерода. Тогда формулы амина и аминокислоты можно записать так:



Аминокислота реагирует с соляной кислотой по уравнению:



Амин также реагирует с соляной кислотой:



Определяем количества амина и аминокислоты. Из уравнений реакций следует, что суммарное количество амина и аминокислоты равно количеству соляной кислоты, прореагировавшей с ними:

$$v(\text{амина}) + v(\text{кислоты}) = v(HCl);$$

$$v(\text{амина}) + v(\text{кислоты}) = 0,2 \text{ моль.}$$

Согласно условию количество амина равно количеству кислоты:

$$v(\text{амина}) = v(\text{кислоты}).$$

Отсюда следует, что

$$v(\text{амина}) = 0,1 \text{ моль}; v(\text{кислоты}) = 0,1 \text{ моль.}$$

Выражаем массы амина и аминокислоты:

$$m(C_x H_{2x+1} - C_2 H_4 NH_2) = v(C_x H_{2x+1} - C_2 H_4 NH_2) \times \\ \times M(C_x H_{2x+1} - C_2 H_4 NH_2);$$

$$m(C_x H_{2x+1} - C_2 H_4 NH_2) = 0,1 \cdot (14x + 45);$$

$$m(C_x H_{2x+1} - CHNH_2 - COOH) = v(C_x H_{2x+1} - CHNH_2 - \\ - COOH) \cdot M(C_x H_{2x+1} - CHNH_2 - COOH).$$

$$m(C_x H_{2x+1} - CHNH_2 - COOH) = 0,1(14x + 75).$$

Рассчитываем массу смеси:

$$m(C_x H_{2x+1} - C_2 H_4 NH_2) + m(C_x H_{2x+1} - CHNH_2 - COOH) = 14,8 \text{ г.}$$

Переписываем уравнение, подставив в него значения масс:

$$0,1 \cdot (14x + 45) + 0,1 \cdot (14x + 75) = 14,8.$$

Решаем уравнение:  $x = 1$ . Формула аминокислоты:



Определяем массу аминокислоты:

$$m(\text{CH}_3\text{—CHNH}_2\text{—COOH}) = 0,1 \cdot 89 = 8,9 \text{ г.}$$

**16.20.** С 25,2 г смеси предельной одноосновной карбоновой кислоты и  $\alpha$ -аминокислоты прореагировало 0,3 моль NaOH. Количество аминокислоты в смеси в 2 раза больше количества кислоты. Кислота и аминокислота содержат одинаковое число атомов углерода. Определите массу аминокислоты в смеси.

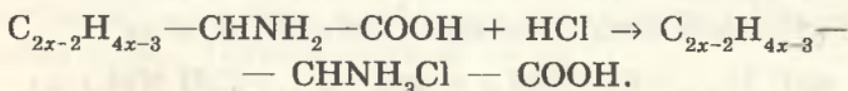
Ответ: 17,8 г.

**16.21.** Со смесью первичного амина и  $\alpha$ -аминокислоты массой 18,1 г прореагировало 0,3 моль HCl. Количество амина в смеси в 2 раза меньше количества аминокислоты. В составе аминокислоты содержится атомов углерода в 2 раза больше, чем в составе амина. Определите массу аминокислоты в смеси.

**Решение.** В составе  $\alpha$ -аминокислоты атомов углерода в 2 раза больше, чем в составе амина. Следовательно, формулы амина и аминокислоты можно записать так:



Аминокислота с соляной кислотой реагирует по уравнению



Составляем уравнение реакции взаимодействия амина и соляной кислоты:



Согласно уравнениям реакций суммарное количество амина и аминокислоты равно количеству соляной кислоты, вступившей в реакцию:

$$v(\text{амина}) + v(\text{аминокислоты}) = v(\text{HCl});$$

$$v(\text{амина}) + v(\text{аминокислоты}) = 0,3 \text{ моль.}$$

В соответствии с условием количество амина в смеси в 2 раза меньше количества аминокислоты. Следовательно,

$$v(\text{амина}) = 0,1 \text{ моль}; v(\text{аминокислоты}) = 0,2 \text{ моль.}$$

Выражаем массу амина и аминокислоты:

$$m(\text{амин}) = \nu(\text{амин}) \cdot M(\text{амин});$$

$$m(\text{амин}) = 0,1 \cdot (14x + 17);$$

$$m(\text{аминокислоты}) = \nu(\text{аминокислоты}) \cdot x \cdot M(\text{аминокислоты});$$

$$m(\text{аминокислоты}) = 0,2(28x + 47).$$

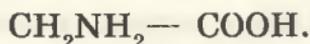
Известно, что масса смеси равна 18,1 г:

$$m(\text{амин}) + m(\text{аминокислоты}) = 18,1 \text{ г.}$$

Перепишем уравнение, подставив в него значения масс:

$$0,1 \cdot (14x + 17) + 0,2(28x + 47) = 18,1,$$

откуда  $x = 1$ . Следовательно, формула аминокислоты имеет вид



Определяем массу аминокислоты:

$$m(\text{CH}_2\text{NH}_2 - \text{COOH}) = 0,2 \cdot 75 = 15 \text{ г.}$$

**16.22.** Со смесью предельной одноосновной карбоновой кислоты и  $\alpha$ -аминокислоты массой 19,6 г прореагировало 0,3 моль NaOH. Количество кислоты в смеси в 2 раза меньше количества аминокислоты. В составе аминокислоты содержится атомов углерода в 2 раза больше, чем в составе кислоты. Определите массу аминокислоты в смеси.

Ответ: 15 г.

## ЛИТЕРАТУРА

- Журин А.А.* Сборник задач по химии. М., 1997. — 253 с.
- Еремин В.В., Кузьменко Н.Е., Попков В.А.* Конкурсные задачи по химии. М., 1995. — 118 с.
- Кузьменко Н.Е., Магдесиева Н.Н., Еремин В.В.* Задачи по химии для абитуриентов. М., 1992. — 191 с.
- Магдесиева Н.Н., Кузьменко Н.Е.* Учись решать задачи по химии. М., 1986. — 158 с.
- Резяпкин В.И., Иванов Е.Е.* Компьютерный задачник по химии. Мн., 1997.
- Свиридов В.В., Попкович Г.А., Адамович Т.П. и др.* Сборник задач и упражнений по химии. Мн., 1994. — 363 с.
- Туманаў В.М., Бурдзь В.М., Бурдзь Г.А. і інш.* Разліковыя задачы па курсу хіміі сярэдняй школы з метадыкай іх рашэння. Гродна, 1997. — 152 с.
- Хомченко Г.П., Хомченко И.Г.* Задачи по химии для поступающих в вузы. М., 1987. — 238 с.
- Шарапа А.І.* Ускладненыя задачы па арганічнай хіміі. Мн., 1995. — 83 с.
- Шиманович И.Е., Стрельцов Е.А., Кузьменок Н.М.* Вступительные экзамены по химии в вузы. Мн., 1997. — 79 с.
- Экзаменационные билеты по химии: Вопр. и ответы. М., 1996. — 190 с.

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Раздел 1. ОБЩАЯ ХИМИЯ .....	5
Глава 1. Основные понятия и законы химии .....	5
1.1. Молярная масса, количество вещества, постоянная Авогадро, молярный объем газа .....	5
1.2. Закон Авогадро, молярный объем .....	9
1.3. Объединенный газовый закон .....	13
1.4. Закон сохранения массы веществ .....	17
Глава 2. Количественные расчеты состава смеси .....	18
2.1. Массовая доля .....	18
2.2. Объемная доля .....	24
2.3. Относительная плотность газов .....	28
2.4. Комбинированные задачи .....	30
Глава 3. Расчеты по химическим уравнениям .....	37
Глава 4. Строение атома .....	61
4.1. Состав атома, строение электронной оболочки атома	61
4.2. Изотопы .....	64
Глава 5. Растворы .....	68
5.1. Массовая доля растворенного вещества .....	68
5.2. Объемная доля растворенного вещества .....	76
5.3. Молярная концентрация .....	78
5.4. Растворимость .....	81
5.5. Электролитическая диссоциация .....	87
5.6. Гидролиз солей .....	89
Глава 6. Скорость химической реакции, химическое равновесие .....	93
6.1. Расчет скорости химической реакции .....	93
6.2. Закон действующих масс .....	96
6.3. Температурный коэффициент скорости химической реакции .....	98
6.4. Химическое равновесие .....	100
6.5. Комбинированные задачи .....	105
Глава 7. Окислительно-восстановительные реакции .....	113
Глава 8. Электролиз .....	116
Раздел 2. НЕОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ .....	124
Глава 9. Водород, галогены .....	124
Глава 10. Подгруппа кислорода .....	140
Глава 11. Подгруппа азота .....	148

Глава 12. Подгруппа углерода .....	160
Глава 13. Металлы .....	170
Раздел 3. ОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ .....	196
Глава 14. Углеводороды .....	196
14.1. Алканы, циклоалканы .....	196
14.2. Алкены и алкадиены .....	211
14.3. Алкины .....	225
14.4. Арены .....	231
Глава 15. Кислородсодержащие органические соединения .	235
15.1. Спирты, фенолы .....	235
15.2. Альдегиды .....	244
15.3. Карбоновые кислоты .....	250
15.4. Сложные эфиры .....	255
15.5. Углеводы .....	260
Глава 16. Азотсодержащие органические соединения .....	262
16.1. Амины .....	262
16.2. Аминокислоты .....	266
ЛИТЕРАТУРА .....	270

*Справочное издание*  
Серия «Всё для школы»  
**Резяпкин Виктор Ильич**

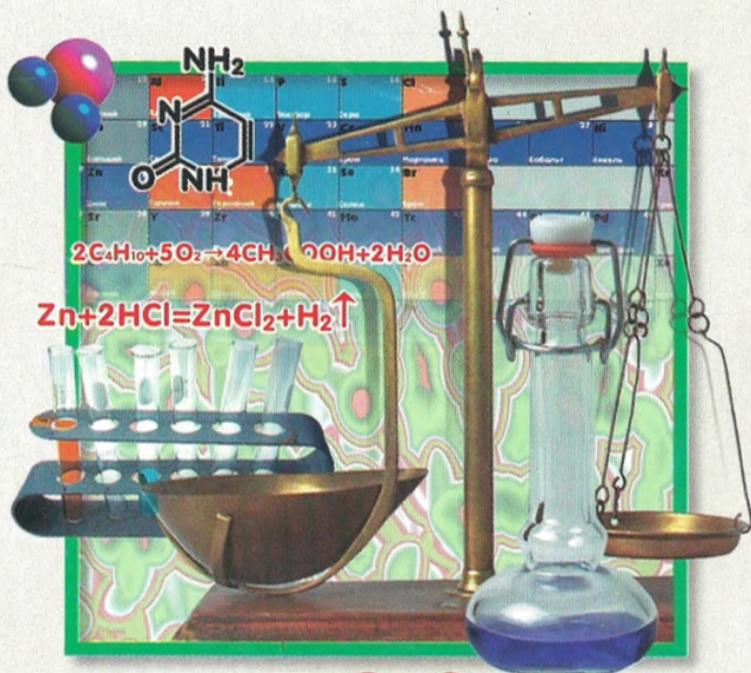
## **700 ЗАДАЧ ПО ХИМИИ С ПРИМЕРАМИ РЕШЕНИЯ ДЛЯ СТАРШЕКЛАССНИКОВ И АБИТУРИЕНТОВ**

Ответственный за выпуск *Юрьев Д. В.*

Подписано в печать с готовых диапозитивов 26.02.2002.  
Формат 84×108 <sup>1</sup>/<sub>32</sub>. Бумага газетная. Гарнитура «Times».  
Печать офсетная. Усл.-печ.л. 14,28. Тираж 5 100 экз. Заказ 556.

ООО «Юнипресс»  
г. Минск, ул. Некрасова 11/34  
Лицензия ЛВ № 387 от 19.05.99.  
По вопросам оптовых закупок  
обращаться по т. +375-17-210-19-29

Отпечатано на Республиканском унитарном предприятии  
«Издательство «Белорусский Дом печати»  
220013, Минск, пр. Ф. Скорины, 79.



**700**  
задач  
по **ХИМИИ**

**С ПРИМЕРАМИ РЕШЕНИЙ**

**ЮНИПРЕСС**

ISBN 985-474-029-3



9 789854 740294