

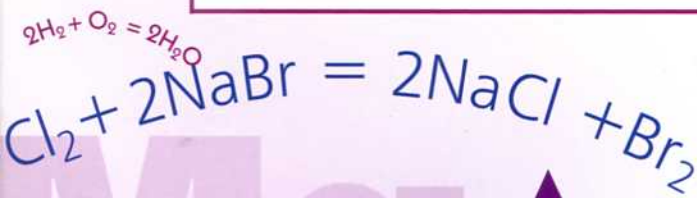
# ТЕМЫ ШКОЛЬНОГО КУРСА

ВИКИ

О. С. Габриелян, П. В. Решетов,  
И. Г. Остроумов

## Задачи по химии и способы их решения

**8-9** классы



NaOH

H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

Au

дрофа



# ТЕМЫ ШКОЛЬНОГО КУРСА

ВНИИХ

О. С. Gabriелян, П. В. Решетов,  
И. Г. Остроумов

## Задачи по химии и способы их решения

**8-9** классы

6-е издание, стереотипное

Москва  
 **Дрофа**  
2015

УДК 373.167.1:54  
ББК 24.1я72  
Г12

*Серия основана в 2001 году*

**Габриелян, О. С.**

Г12      **Задачи по химии и способы их решения. 8—9 кл. /**  
**О. С. Габриелян, П. В. Решетов, И. Г. Остро-**  
**умов. — 6-е изд., стереотип. — М. : Дрофа, 2015. —**  
**158, [2] с. — (Темы школьного курса).**

**ISBN 978-5-358-15562-6**

В пособии подробно рассмотрены способы решения задач в объеме школьной программы для 8—9 классов и приведены задачи для самостоятельного решения. Большое внимание уделено решению комбинированных задач.

Данное пособие поможет научиться правильно решать расчетные задачи по химии и будет полезным как для учащихся 8 и 9 классов, так и для преподавателей химии.

**УДК 373.167.1:54**  
**ББК 24.1я72**

**ISBN 978-5-358-15562-6**

© ООО «ДРОФА», 2004

Решение расчетных задач занимает важное место в изучении основ химической науки. При решении задач происходит более глубокое и полное усвоение учебного материала, вырабатываются навыки практического применения имеющихся знаний, развиваются способности к самостоятельной работе, происходит формирование умения логически мыслить, использовать приемы анализа и синтеза, находить взаимосвязь между объектами и явлениями. В этом отношении решение задач является необходимым компонентом при изучении такой науки, как химия.

Для того чтобы успешно справляться с задачами, необходимо знать основные способы их решения.

В данном пособии рассмотрены способы решения химических задач по следующим темам:

- основные количественные характеристики вещества: количество вещества, масса и объем;
- массовая, объемная и молярная доля вещества в смеси; массовая доля элемента в соединении;
- вывод формул соединений;
- расчет количества вещества, массы или объема исходных веществ и продуктов реакции;
- расчет массы, объема продукта реакции, если одно из реагирующих веществ дано в избытке;

- расчеты, связанные с использованием доли выхода продуктов реакции;
- расчеты, связанные со скоростью химической реакции и химическим равновесием;
- расчеты, связанные с концентрацией растворов, растворимостью веществ, электролитической диссоциацией;
- расчеты, связанные с положением металлов в электрохимическом ряду напряжений металлов.

В каждом разделе пособия подробно рассмотрены способы решения задач по каждой из тем и даны аналогичные задачи для самостоятельного решения. Внутри разделов задачи расположены по возрастанию их сложности, что дает возможность осваивать материал постепенно, закрепляя полученные ранее знания.

Большинство задач, решаемых в школе и на различного рода конкурсах и экзаменах, являются комбинированными, т. е. сочетают различные типы вычислений. Например, задачи на смеси веществ включают расчеты по химическим уравнениям, вычисление массовой доли компонента смеси и т. д. Для решения таких задач необходимо использовать способы, описанные в различных разделах данного пособия. Примеры решения таких задач также представлены авторами.

Знание способов решения простейших задач, основных формул и законов, по которым проводятся расчеты, является обязательным, но не единственным условием того, чтобы справиться с предложенной задачей. Умение решать задачи складывается из многих факторов.

Во-первых, для успешного решения задачи необходим прочный теоретический фундамент, т. е. знания о строении веществ, их физических свойствах, способах получения, основных типах превращений. Очень часто затруднения в решении задач

связаны с неумением верно написать уравнение реакции, ошибками в формулах соединений, пробелами в знаниях основных закономерностей и т. п.

Во-вторых, приступая к решению задачи, следует прежде всего внимательно изучить ее условие. При этом обращать внимание следует не только на численные величины, приведенные в задаче, но и на ее текст. Очень часто в тексте задачи содержатся подсказки, без учета которых нельзя добиться верного решения. Очень важно, чтобы решающий задачу четко представлял себе сущность описанных в ней процессов, видел взаимосвязь происходящих химических превращений и изменений численных параметров системы, описанной в задаче. Например, если в условии задачи говорится о том, что после пропускания смеси газов через раствор какого-либо вещества объем смеси уменьшился, необходимо разобраться в причинах этого изменения, выяснить, за счет какого вещества произошло уменьшение объема и какие вещества остались после этого в смеси. Без тщательного анализа условия решить задачу практически невозможно.

В-третьих, уяснив условия задачи, необходимо обдумать способ ее решения, т. е. установить связь между известными величинами и неизвестными. Для этого существует два метода. Первый метод предусматривает решение задачи «с конца». При этом обращают внимание на неизвестную величину, которая является целью решения задачи, выявляют законы и формулы, которые нужно использовать для ее вычисления, а также данные, необходимые для проведения таких вычислений, а если этих данных в условии задачи нет, определяют путь, по которому можно их найти, исходя из приведенных в условии величин. Второй путь предусматривает решение задачи, исходя из известных величин, содержащихся в условии. При

этом анализируют исходные данные, определяют величины, которые они позволяют найти, выявляют направления, позволяющие перейти от этих величин к конечному результату. Нередко при решении задач приходится комбинировать описанные методы.

Авторы надеются, что данное пособие поможет научиться правильно решать расчетные химические задачи и окажется полезным как для учащихся, так и для преподавателей химии.

$A_r$  — относительная атомная масса.

$M_r$  — относительная молекулярная масса.

$N$  — число атомов, молекул или ионов.

$N_A$  — постоянная Авогадро.

$v$  — количество вещества.

$m$  — масса.

$V$  — объем.

$V_m$  — молярный объем.

$M$  — молярная масса.

$p$  — давление.

$v$  — скорость реакции.

$\gamma$  — температурный коэффициент реакции.

$C$  — концентрация.

$\tau$  — время.

$t$  — температура.

$D_{\text{возд}}(A)$  — относительная плотность по воздуху газообразного вещества  $A$ .

$D_{\text{H}_2}(A)$  — относительная плотность по водороду газообразного вещества  $A$ .



# Количественные характеристики вещества

---

Основные количественные характеристики вещества: количество вещества, масса и объем

## ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Важнейшим понятием химии является количество вещества. **Количество вещества** характеризует число структурных единиц (атомов, молекул, ионов), которое содержится в определенном образце данного вещества.

Единицей измерения количества вещества является моль. **Моль** — это количество вещества, содержащее столько же структурных единиц (атомов, молекул или ионов), сколько их содержится в 12 г изотопа углерода  $^{12}\text{C}$ . Согласно этому определению, 1 моль любого вещества содержит одинаковое число структурных единиц. Это число равно  $6,02 \cdot 10^{23}$ , его называют постоянной Авогадро ( $N_A$ ).

Количество вещества ( $\nu$ ) связано с числом структурных единиц ( $N$ ) в образце вещества, его массой ( $m$ ) и объемом ( $V$ ) — для газообразных веществ при н. у. — следующими уравнениями:

$$\nu = \frac{m}{M}; \nu = \frac{V}{V_m}; \nu = \frac{N}{N_A},$$

в которых  $V_m = 22,4$  л/моль (мл/ммоль, м<sup>3</sup>/кмоль),  $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ , а молярная масса ( $M$ ) численно равна относительной молекулярной массе вещества<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Относительную молекулярную массу вещества ( $M_r$ ) вычисляют как сумму относительных атомных масс элементов, образующих вещество, с учетом числа атомов, например:

$$M_r(\text{H}_2\text{O}) = 2A_r(\text{H}) + A_r(\text{O}) = 2 \cdot 1 + 16 = 18.$$

Зная две величины в данных уравнениях, можно легко найти третью.

### СПОСОБЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

**1.1.** Какое количество вещества содержится в 33 г оксида углерода (IV)?

Д а н о.

$$m(\text{CO}_2) = 33 \text{ г}$$

$$\nu(\text{CO}_2) = ?$$

Р е ш е н и е.

1. Найдем молярную массу углерода (IV):

$$\begin{aligned} M(\text{CO}_2) &= M(\text{C}) + 2M(\text{O}) = \\ &= 12 \text{ г/моль} + 2 \cdot 16 \text{ г/моль} = \\ &= 44 \text{ г/моль}. \end{aligned}$$

2. Рассчитаем количество вещества оксида углерода (IV):

$$\nu(\text{CO}_2) = \frac{m(\text{CO}_2)}{M(\text{CO}_2)} = \frac{33 \text{ г}}{44 \text{ г/моль}} = 0,75 \text{ моль}.$$

О т в е т.  $\nu(\text{CO}_2) = 0,75 \text{ моль}.$

**1.2.** Какое число молекул содержится в 2,5 моль кислорода?

Д а н о.

$$\nu(\text{O}_2) = 2,5 \text{ моль}$$

$$N(\text{O}_2) = ?$$

Р е ш е н и е.

1. Преобразуя уравнение

$$\nu = \frac{N}{N_A} \text{ для } N, \text{ получим:}$$

$$N = \nu \cdot N_A.$$

2. Подставив известные величины в полученное уравнение, найдем число молекул кислорода:

$$\begin{aligned} N(\text{O}_2) &= \nu(\text{O}_2) \cdot N_A = 2,5 \text{ моль} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1} = \\ &= 1,505 \cdot 10^{24}. \end{aligned}$$

О т в е т.  $N(\text{O}_2) = 1,505 \cdot 10^{24}.$

**1.3.** Определите объем (н. у.), который займут 0,25 моль водорода.

Д а н о.

$$\nu(\text{H}_2) = 0,25 \text{ моль}$$

$$V(\text{H}_2) = ?$$

Р е ш е н и е.

1. Запишем уравнение, связывающее количество вещества и объем:

$$V = \nu \cdot V_m.$$

2. Зная, что молярный объем газов  $V_m$  при нормальных условиях — величина постоянная и равная 22,4 л/моль, найдем объем водорода:

$$V(\text{H}_2) = \nu(\text{H}_2) \cdot V_m = 0,25 \text{ моль} \cdot 22,4 \text{ л/моль} = 5,6 \text{ л.}$$

О т в е т.  $V(\text{H}_2) = 5,6 \text{ л.}$

1.4. Какую массу будет иметь порция оксида серы (IV), объем которой 13,44 л (н. у.)?

Д а н о.

$$V(\text{SO}_2) = 13,44 \text{ л}$$

$$m(\text{SO}_2) — ?$$

Р е ш е н и е.

Перейти от объема вещества к его массе можно, зная количество вещества.

1. Найдем количество вещества оксида серы (IV):

$$\nu(\text{SO}_2) = \frac{V(\text{SO}_2)}{V_m} = \frac{13,44 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} = 0,6 \text{ моль.}$$

2. Найдем молярную массу оксида серы (IV):

$$M(\text{SO}_2) = M(\text{S}) + 2M(\text{O}) = 32 \text{ г/моль} + 2 \times 16 \text{ г/моль} = 64 \text{ г/моль.}$$

3. Зная количество вещества  $\text{SO}_2$  и его молярную массу, найдем массу  $\text{SO}_2$ :

$$m(\text{SO}_2) = \nu(\text{SO}_2) \cdot M(\text{SO}_2) = 0,6 \text{ моль} \cdot 64 \text{ г/моль} = 38,4 \text{ г.}$$

О т в е т.  $m(\text{SO}_2) = 38,4 \text{ г.}$

1.5. Какова масса порции оксида азота (IV), содержащей  $4,816 \cdot 10^{23}$  молекул? Каков ее объем (н. у.)?

Д а н о.

$$N(\text{NO}_2) = 4,816 \cdot 10^{23}$$

$$m(\text{NO}_2) — ?$$

$$V(\text{NO}_2) — ?$$

Р е ш е н и е.

1. Найдем количество вещества  $\text{NO}_2$ :

$$\nu(\text{NO}_2) = \frac{N(\text{NO}_2)}{N_A} = \frac{4,816 \cdot 10^{23}}{6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}} = 0,8 \text{ моль.}$$

2. Найдем массу  $\text{NO}_2$ :

$$m(\text{NO}_2) = \nu(\text{NO}_2) \cdot M(\text{NO}_2) = 0,8 \text{ моль} \cdot 46 \text{ г/моль} = 36,8 \text{ г.}$$

3. Найдем объем  $\text{NO}_2$ :

$$V(\text{NO}_2) = \nu(\text{NO}_2) \cdot V_m = 0,8 \text{ моль} \cdot 22,4 \text{ л/моль} = 17,92 \text{ л.}$$

О т в е т.  $m(\text{NO}_2) = 36,8 \text{ г}$ ;  $V(\text{NO}_2) = 17,92 \text{ л}$ .

**1.6.** Масса порции простого вещества, содержащей  $1,806 \cdot 10^{24}$  молекул, равна 6 г. Определите молярную массу данного вещества и назовите его.

Д а н о.

$$N(\text{в-ва}) = 1,806 \cdot 10^{24}$$

$$m(\text{в-ва}) = 6 \text{ г}$$

$$M(\text{в-ва}) — ?$$

Р е ш е н и е.

1. Найдем количество вещества неизвестного простого вещества:

$$\nu(\text{в-ва}) = \frac{N(\text{в-ва})}{N_A} = \frac{1,806 \cdot 10^{24}}{6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}} = 3 \text{ моль.}$$

2. Найдем молярную массу неизвестного вещества:

$$M(\text{в-ва}) = \frac{m(\text{в-ва})}{\nu(\text{в-ва})} = \frac{6 \text{ г}}{3 \text{ моль}} = 2 \text{ г/моль.}$$

По значению молярной массы простого вещества определяем, что простое вещество — водород.

О т в е т.  $M(\text{в-ва}) = 2 \text{ г/моль}$ . Это водород.

**1.7.** Определите абсолютную массу (в г) одной молекулы воды.

Д а н о.

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

$$m \text{ (молекулы } \text{H}_2\text{O}) — ?$$

Р е ш е н и е.

Найдем массу одной молекулы воды, зная молярную массу воды (массу 1 моль) и число молекул, содержащихся в 1 моль (постоянную Авогадро):

$$m \text{ (молекулы } \text{H}_2\text{O}) = \frac{M(\text{H}_2\text{O})}{N_A} =$$

$$= \frac{18 \text{ г/моль}}{6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}} = 2,99 \cdot 10^{-23} \text{ г.}$$

О т в е т.  $m \text{ (молекулы } \text{H}_2\text{O}) = 2,99 \cdot 10^{-23} \text{ г.}$

**1.8.** Определите массу порции оксида серы (VI), содержащей  $7,224 \cdot 10^{23}$  атомов кислорода.

Д а н о.	Р е ш е н и е.
$N(\text{O}) = 7,224 \cdot 10^{23}$	1. В условии задачи
$m(\text{SO}_3) — ?$	указано число <u>атомов</u>
	кислорода в порции окси-
	да серы (VI).

Учитывая, что в состав одной молекулы оксида входит 3 атома кислорода, найдем число молекул  $\text{SO}_3$  в данной порции:

$$\frac{N(\text{SO}_3)}{N(\text{O})} = \frac{1}{3} \Rightarrow N(\text{SO}_3) = \frac{N(\text{O}) \cdot 1}{3} = \frac{7,224 \cdot 10^{23}}{3} =$$

$$= 2,408 \cdot 10^{23}.$$

2. Зная число молекул  $\text{SO}_3$  в данной порции, найдем количество вещества оксида серы (VI):

$$\nu(\text{SO}_3) = \frac{N(\text{SO}_3)}{N_A} = \frac{2,408 \cdot 10^{23}}{6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}} = 0,4 \text{ моль.}$$

3. Найдем массу оксида серы (VI):

$$m(\text{SO}_3) = \nu(\text{SO}_3) \cdot M(\text{SO}_3) = 0,4 \text{ моль} \cdot 80 \text{ г/моль} = 32 \text{ г.}$$

О т в е т.  $m(\text{SO}_3) = 32 \text{ г.}$

**1.9.** Сколько атомов азота содержится в оксиде азота (I), объем которого (н. у.) равен 20,16 л?

Д а н о.	Р е ш е н и е.
$V(\text{N}_2\text{O}) = 20,16 \text{ л}$	1. Определим количе-
$N(\text{N}) — ?$	ство вещества оксида азо-
	та (I):

$$\nu(\text{N}_2\text{O}) = \frac{V(\text{N}_2\text{O})}{V_m} = \frac{20,16 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} = 0,9 \text{ моль.}$$

2. Рассчитаем число молекул оксида азота (I):

$$N(\text{N}_2\text{O}) = \nu(\text{N}_2\text{O}) \cdot N_A = 0,9 \text{ моль} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1} = 5,418 \cdot 10^{23}.$$

3. Найдем число атомов азота, учитывая, что в состав одной молекулы оксида азота (I) входят 2 атома азота:

$$\frac{N(\text{N})}{N(\text{N}_2\text{O})} = \frac{2}{1} \Rightarrow N(\text{N}) = \frac{N(\text{N}_2\text{O}) \cdot 2}{1} = 5,418 \cdot 10^{23} \times 2 = 10,836 \cdot 10^{23}.$$

О т в е т.  $N(\text{N}) = 10,836 \cdot 10^{23}$ .

1.10. Определите объем (н. у.) оксида углерода (IV), в котором содержится столько же атомов кислорода, сколько их содержится в 48 г карбоната кальция.

Д а н о.	Р е ш е н и е.
$m(\text{CaCO}_3) = 48 \text{ г}$	1. Найдем количество вещества карбоната кальция:
<hr/>	
$V(\text{CO}_2) - ?$	

$$\nu(\text{CaCO}_3) = \frac{m(\text{CaCO}_3)}{M(\text{CaCO}_3)} = \frac{48 \text{ г}}{100 \text{ г/моль}} = 0,48 \text{ моль}.$$

2. Найдем число молекул  $\text{CaCO}_3$ :

$$N(\text{CaCO}_3) = \nu(\text{CaCO}_3) \cdot N_A = 0,48 \text{ моль} \cdot 6,02 \times 10^{23} \text{ моль}^{-1} = 2,89 \cdot 10^{23}.$$

3. Найдем число атомов кислорода в образце  $\text{CaCO}_3$  ( $N_1(\text{O})$ ):

$$\frac{N_1(\text{O})}{N(\text{CaCO}_3)} = \frac{3}{1} \Rightarrow N_1(\text{O}) = \frac{N(\text{CaCO}_3) \cdot 3}{1} = 2,89 \times 10^{23} \cdot 3 = 8,669 \cdot 10^{23}.$$

4. По условию задачи такое же число атомов кислорода  $N_2(\text{O})$  содержится в оксиде углерода (IV), следовательно:

$$N_1(\text{O}) = N_2(\text{O}) = 8,669 \cdot 10^{23}.$$

Найдем число молекул  $\text{CO}_2$ , содержащее данное число атомов кислорода:

$$\frac{N(\text{CO}_2)}{N_2(\text{O})} = \frac{1}{2} \Rightarrow N(\text{CO}_2) = \frac{N_2(\text{O}) \cdot 1}{2} = \frac{8,669 \cdot 10^{23}}{2} = 4,334 \cdot 10^{23}.$$

5. Найдем количество вещества оксида углерода (IV):

$$\nu(\text{CO}_2) = \frac{N(\text{CO}_2)}{N_A} = \frac{4,334 \cdot 10^{23}}{6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}} = 0,72 \text{ моль}.$$

6. Найдем объем оксида углерода (IV):

$$V(\text{CO}_2) = \nu(\text{CO}_2) \cdot V_m = 0,72 \text{ моль} \cdot 22,4 \text{ л/моль} = 16,12 \text{ л}.$$

О т в е т.  $V(\text{CO}_2) = 16,12 \text{ л}.$

1.11. Определите относительную плотность сероводорода по водороду и по воздуху.

Д а н о.

$$M(\text{H}_2\text{S}) = 34 \text{ г/моль}$$

$$D_{\text{H}_2}(\text{H}_2\text{S}) - ?$$

$$D_{\text{возд}}(\text{H}_2\text{S}) - ?$$

Р е ш е н и е.

Относительную плотность одного газа по другому можно вычислить по формуле:

$$D_{\text{газ 1}}(\text{газ 2}) = \frac{M(\text{газ 1})}{M(\text{газ 2})}.$$

1. Используя эту формулу, рассчитаем плотность сероводорода по водороду:

$$D_{\text{H}_2}(\text{H}_2\text{S}) = \frac{M(\text{H}_2\text{S})}{M(\text{H}_2)} = \frac{34 \text{ г/моль}}{2 \text{ г/моль}} = 17.$$

2. Зная, что средняя молярная масса воздуха равна 29, найдем плотность сероводорода по воздуху.

$$D_{\text{возд}}(\text{H}_2\text{S}) = \frac{M(\text{H}_2\text{S})}{M(\text{возд.})} = \frac{34 \text{ г/моль}}{29 \text{ г/моль}} = 1,17.$$

О т в е т.  $D_{\text{H}_2}(\text{H}_2\text{S}) = 17$ ;  $D_{\text{возд}}(\text{H}_2\text{S}) = 1,17.$

**1.12.** Плотность газа по кислороду равна 0,875. Определите число молекул, содержащихся в 15,4 г этого газа.

Д а н о.

$$M(\text{газа}) = 15,4 \text{ г}$$

$$D_{\text{O}_2}(\text{газа}) = 0,875$$

$$N(\text{газа}) = ?$$

Р е ш е н и е.

1. Найдем молярную массу газа, зная его плотность по кислороду:

$$D_{\text{O}_2}(\text{газа}) = \frac{M(\text{газа})}{M(\text{O}_2)} \Rightarrow M(\text{газа}) = D_{\text{O}_2}(\text{газа}) \times M(\text{O}_2) = 0,875 \cdot 32 \text{ г/моль} = 28 \text{ г/моль}.$$

2. Найдем количество вещества газа:

$$\nu(\text{газа}) = \frac{m(\text{газа})}{M(\text{газа})} = \frac{15,4 \text{ г}}{28 \text{ г/моль}} = 0,55 \text{ моль}.$$

3. Найдем число молекул в данном образце газа:

$$N(\text{газа}) = \nu(\text{газа}) \cdot N_A = 0,55 \text{ моль} \cdot 6,02 \times 10^{23} \text{ моль}^{-1} = 3,311 \cdot 10^{23}.$$

$$\text{О т в е т. } N(\text{газа}) = 3,311 \cdot 10^{23}.$$

### ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

**1.13.** Определите массу 1,5 моль оксида меди (II).

$$\text{О т в е т. } m(\text{CuO}) = 120 \text{ г}.$$

**1.14.** Определите массу и объем (н. у.) 3,5 моль аммиака.

$$\text{О т в е т. } m(\text{NH}_3) = 59,5 \text{ г}; V(\text{NH}_3) = 78,4 \text{ л}.$$

**1.15.** Какую массу имеют 14,56 л (н. у.) оксида углерода (II)?

$$\text{О т в е т. } m(\text{CO}) = 18,2 \text{ г}.$$

**1.16.** Порция хлора имеет массу 3,55 г. Другая порция занимает (н. у.) объем, равный 1,344 л. В каком образце содержится больше молекул хлора?

О т в е т. Во второй порции молекул хлора больше.



**1.17.** Сплав содержит 16 г меди и 11,2 г железа. Атомов какого металла будет больше в данном образце сплава?

**О т в е т.** В образце сплава атомов меди больше.

**1.18.** Смешали 16,8 г азота и 15,68 л (н. у.) водорода. Какое суммарное число молекул обоих газов будет содержаться в данной смеси?

**О т в е т.**  $N(N_2 \text{ и } H_2) = 8,726 \cdot 10^{23}$ .

**1.19.** Чему равна масса порции хлорида бария, содержащая  $1,3244 \cdot 10^{24}$  ионов хлора?

**О т в е т.**  $m(BaCl_2) = 228,8 \text{ г}$ .

**1.20.** Какую массу должен иметь образец нитрата калия, чтобы в нем было столько же атомов кислорода, сколько их содержится в образце сульфата натрия массой 21,3 г?

**О т в е т.**  $m(KNO_3) = 20,2 \text{ г}$ .

**1.21.** Сколько атомов хлора содержится в смеси, состоящей из 16,68 г хлорида фосфора (V) и 16,5 г хлорида фосфора (III)?

**О т в е т.**  $N(Cl) = 4,575 \cdot 10^{23}$ .

**1.22.** Вычислите массу смеси, содержащей 672 мл (н. у.) оксида азота (I), 0,125 моль оксида азота (II) и 1,15 г оксида азота (IV). Сколько атомов азота будет содержаться в этой смеси?

**О т в е т.**  $m(\text{смеси}) = 6,22 \text{ г}$ ,  $N(N) = 1,26 \cdot 10^{23}$ .

**1.23.** Молекула некоторого газа имеет массу  $6,063 \cdot 10^{-23} \text{ г}$ . Определите плотность данного газа по гелию.

**О т в е т.**  $D_{He}(\text{газа}) = 9,125$ .

**1.24.** Вычислите плотность газа по азоту, если 1 л (н. у.) этого газа имеет массу 1,7857 г.

**О т в е т.**  $D_{N_2}(\text{газа}) = 1,4285$ .

**1.25.** Плотность газа по воздуху равна 2,207. Найдите плотность этого газа по хлору и массу одной молекулы этого газа (в г).

О т в е т.  $D_{\text{Cl}_2}(\text{газа}) = 0,9$ ;  $m(\text{газа}) = 1,063 \cdot 10^{-22}$  г.

**1.26.** Масса порции оксида алюминия равна массе порции оксида кремния (IV). В какой порции будет содержаться больше атомов кислорода?

О т в е т. Больше атомов кислорода в порции оксида кремния (IV).

**1.27.** Порции метана  $\text{CH}_4$  и аммиака  $\text{NH}_3$  содержат одинаковое число атомов водорода. Какая порция будет иметь бóльшую массу?

О т в е т. Бóльшую массу будет иметь порция аммиака.

**1.28.** Десять молекул газа имеют массу  $6,063 \cdot 10^{-22}$  г. Определите плотность данного газа по водороду.

О т в е т.  $D_{\text{H}_2}(\text{газа}) = 18,25$ .

**1.29.** Определите массу и объем (н. у.) аммиака, содержащего столько же атомов водорода, сколько их содержится в 2,55 г сероводорода.

О т в е т.  $m(\text{NH}_3) = 0,85$  г;  $V(\text{NH}_3) = 1,12$  л.

Массовая, объемная и молярная доля вещества в смеси. Массовая доля элемента в соединении

### ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

*Массовую долю вещества* в смеси или растворе вычисляют как отношение массы вещества, входящего в состав смеси, к массе всей смеси.

Массовую долю часто выражают в процентах. Для этого отношение массы вещества к массе смеси умножают на 100%:

$$\omega = \frac{m(\text{в-ва})}{m(\text{смеси})}, \text{ или } \omega = \frac{m(\text{в-ва})}{m(\text{смеси})} \cdot 100\%.$$

Аналогично *объемную долю вещества* вычисляют как отношение объема вещества к объему смеси, а *молярную долю вещества* — как отношение количества вещества одного из компонентов смеси к сумме количеств веществ всех компонентов смеси:

$$\varphi = \frac{V(\text{в-ва})}{V(\text{смеси})} \cdot 100\%; \chi = \frac{v(\text{в-ва})}{v(\text{смеси})} \cdot 100\%.$$

*Массовую долю элемента* в соединении вычисляют как отношение массы элемента, входящего в состав данного соединения, к массе всего соединения:

$$\omega = \frac{m(\text{эл-та})}{m(\text{в-ва})} \cdot 100\%.$$

Зная молекулярную формулу соединения, *массу элемента*, входящего в его состав, вычисляют как произведение молярной массы элемента на число атомов этого элемента в соединении.

В этом случае *массовую долю элемента* в соединении рассчитывают как отношение этой величины к молярной массе всего соединения:

$$\omega(\text{эл-та}) = \frac{M(\text{эл-та}) \cdot N}{M(\text{в-ва})} \cdot 100\%.$$

## СПОСОБЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

**2.1.** 25 г оксида магния смешали с 35 г оксида алюминия. Определите массовую долю оксида магния в данной смеси.

Д а н о.

$$m(\text{MgO}) = 25 \text{ г}$$

$$m(\text{Al}_2\text{O}_3) = 35 \text{ г}$$

$$\omega(\text{MgO}) = ?$$

Р е ш е н и е.

1. Найдем массу смеси:

$$\begin{aligned} m(\text{смеси}) &= m(\text{MgO}) + \\ &+ m(\text{Al}_2\text{O}_3) = 25 \text{ г} + 35 \text{ г} = \\ &= 60 \text{ г}. \end{aligned}$$

2. Найдем массовую долю оксида магния:

$$\omega(\text{MgO}) = \frac{m(\text{MgO})}{m(\text{смеси})} = \frac{25 \text{ г}}{60 \text{ г}} = 0,417, \text{ или } 41,7\%.$$

О т в е т.  $\omega(\text{MgO}) = 0,417$ , или 41,7%.

**2.2.** Вычислите объемную долю азота в смеси газов, содержащей 32 л азота, 48 л углекислого газа, 36 л гелия и 14 л водорода.

Д а н о.

$$V(N_2) = 32 \text{ л}$$

$$V(CO_2) = 48 \text{ л}$$

$$V(He) = 36 \text{ л}$$

$$V(H_2) = 14 \text{ л}$$

---


$$\varphi(N_2) = ?$$

Р е ш е н и е.

1. Найдем объем смеси газов:

$$\begin{aligned} V(\text{смеси}) &= V(N_2) + \\ &+ V(CO_2) + V(He) + V(H_2) = \\ &= 32 \text{ л} + 48 \text{ л} + 36 \text{ л} + \\ &+ 14 \text{ л} = 130 \text{ л}. \end{aligned}$$

2. Найдем объемную долю азота в смеси:

$$\varphi(N_2) = \frac{V(N_2)}{V(\text{смеси})} = \frac{32 \text{ л}}{130 \text{ л}} = 0,246, \text{ или } 24,6\%.$$

О т в е т.  $\varphi(N_2) = 0,246$ , или  $24,6\%$ .

**2.3.** Вычислите молярную и массовую долю (в %) оксида углерода (II) в смеси, содержащей 16,8 л (н. у.) оксида углерода (II) и 13,44 л (н. у.) оксида углерода (IV).

Д а н о.

$$V(CO) = 16,8 \text{ л}$$

$$V(CO_2) = 13,44 \text{ л}$$

---


$$\chi(CO) = ?$$

$$\omega(CO) = ?$$

Р е ш е н и е.

1. Найдем количество вещества оксидов углерода (II) и (IV):

$$\begin{aligned} \nu &= \frac{V}{V_m} \Rightarrow \nu(CO) = \\ &= \frac{16,8 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} = 0,75 \text{ моль}; \\ \nu(CO_2) &= \frac{13,44 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} = \\ &= 0,6 \text{ моль}. \end{aligned}$$

2. Найдем общее количество вещества газов в смеси:

$$\begin{aligned} \nu(\text{смеси}) &= \nu(CO) + \nu(CO_2) = 0,75 \text{ моль} + 0,6 \text{ моль} = \\ &= 1,35 \text{ моль}. \end{aligned}$$

3. Найдем молярную долю оксида углерода (II) в смеси:

$$\chi(\text{CO}) = \frac{\nu(\text{CO})}{\nu(\text{смеси})} \cdot 100\% = \frac{0,75 \text{ моль}}{1,35 \text{ моль}} \cdot 100\% = 55,56\%.$$

4. Найдем массы оксида углерода (II) и оксида углерода (IV):

$$m(\text{CO}) = \nu(\text{CO}) \cdot M(\text{CO}) = 0,75 \text{ моль} \cdot 28 \text{ г/моль} = 21 \text{ г};$$

$$m(\text{CO}_2) = \nu(\text{CO}_2) \cdot M(\text{CO}_2) = 0,6 \text{ моль} \cdot 44 \text{ г/моль} = 26,4 \text{ г}.$$

5. Вычислим массу смеси:

$$m(\text{смеси}) = m(\text{CO}) + m(\text{CO}_2) = 21 \text{ г} + 26,4 \text{ г} = 47,4 \text{ г}.$$

6. Вычислим массовую долю CO в смеси:

$$\omega(\text{CO}) = \frac{m(\text{CO})}{m(\text{смеси})} \cdot 100\% = \frac{21 \text{ г}}{47,4 \text{ г}} \cdot 100\% = 44,3\%.$$

О т в е т.  $\chi(\text{CO}) = 55,56\%$ ,  $\omega(\text{CO}) = 44,3\%$ .

2.4. В воде растворили 15 г хлорида натрия. Вычислите массу полученного раствора, если массовая доля соли в нем равна 5%.

Д а н о.

$$m(\text{NaCl}) = 15 \text{ г}$$

$$\omega(\text{NaCl}) = 5\%$$

$$m(\text{р-ра}) = ?$$

Р е ш е н и е.

Используя формулу для нахождения массовой доли вещества в смеси, выразим массу раствора и вычислим ее:

$$m(\text{р-ра}) = \frac{m(\text{NaCl})}{\omega(\text{NaCl})} \cdot 100\% = \frac{15 \text{ г}}{5\%} \cdot 100\% = 300 \text{ г}.$$

О т в е т.  $m(\text{р-ра}) = 300 \text{ г}$ .

2.5. Образец сплава меди с цинком имеет массу 75 г. Массовая доля меди в этом сплаве равна 64%. Определите массу цинка в данном образце.

Д а н о.

$$m(\text{сплава}) = 75 \text{ г}$$

$$\omega(\text{Cu}) = 64\%$$

$$m(\text{Zn}) — ?$$

Р е ш е н и е.

1. Зная массу сплава и массовую долю меди, найдем ее массу в образце сплава:

$$m(\text{Cu}) = \frac{\omega(\text{Cu}) \cdot m(\text{сплава})}{100\%} = \frac{64\% \cdot 75 \text{ г}}{100\%} = 48 \text{ г.}$$

2. Найдем массу цинка в сплаве:

$$m(\text{Zn}) = m(\text{сплава}) - m(\text{Cu}) = 75 \text{ г} - 48 \text{ г} = 27 \text{ г.}$$

О т в е т.  $m(\text{Zn}) = 27 \text{ г.}$

**2.6.** Объемная доля аммиака в смеси с кислородом равна 40%. Вычислите плотность данной смеси по воздуху.

Д а н о.

$$\varphi(\text{NH}_3) = 40\%$$

$$D_{\text{возд}}(\text{смеси}) — ?$$

Р е ш е н и е.

1. Возьмем такое количество смеси, в котором содержится 22,4 л (н. у.) аммиака.

Преобразуя формулу для вычисления объемной доли, найдем объем смеси:

$$V(\text{смеси}) = \frac{V(\text{NH}_3)}{\varphi(\text{NH}_3)} \cdot 100\% = \frac{22,4 \text{ л}}{40\%} \cdot 100\% = 56 \text{ л.}$$

2. Вычислим объем кислорода, содержащегося в данном объеме смеси:

$$V(\text{O}_2) = V(\text{смеси}) - V(\text{NH}_3) = 56 \text{ л} - 22,4 \text{ л} = 33,6 \text{ л.}$$

3. Найдем количество вещества каждого газа:

$$\nu(\text{NH}_3) = \frac{V(\text{NH}_3)}{V_m} = \frac{22,4 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} = 1 \text{ моль};$$

$$\nu(\text{O}_2) = \frac{V(\text{O}_2)}{V_m} = \frac{33,6 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} = 1,5 \text{ моль.}$$

4. Найдем массы обоих газов:

$$m(\text{NH}_3) = \nu(\text{NH}_3) \cdot M(\text{NH}_3) = 1 \text{ моль} \cdot 17 \text{ г/моль} = 17 \text{ г};$$

$$m(\text{O}_2) = \nu(\text{O}_2) \cdot M(\text{O}_2) = 1,5 \text{ моль} \cdot 32 \text{ г/моль} = 48 \text{ г.}$$

5. Найдем массу смеси:

$$m(\text{смеси}) = m(\text{NH}_3) + m(\text{O}_2).$$

$$m(\text{смеси}) = 17 \text{ г} + 48 \text{ г} = 65 \text{ г}.$$

6. Найдем количество вещества смеси:

$$\nu(\text{смеси}) = \nu(\text{NH}_3) + \nu(\text{O}_2) = 1 \text{ моль} + 1,5 \text{ моль} = 2,5 \text{ моль}.$$

7. Найдем массу 1 моль смеси:

$$M(\text{смеси}) = \frac{m(\text{смеси})}{\nu(\text{смеси})} = \frac{65 \text{ г}}{2,5 \text{ моль}} = 26 \text{ г/моль}.$$

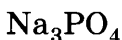
8. Найдем плотность смеси по воздуху:

$$D_{\text{возд}}(\text{смеси}) = \frac{M(\text{смеси})}{M(\text{возд.})} = \frac{26 \text{ г/моль}}{29 \text{ г/моль}} = 0,896.$$

О т в е т.  $D_{\text{возд}}(\text{смеси}) = 0,896$ .

**2.7.** Найдите массовую долю кислорода в фосфате натрия.

Д а н о.



$\omega(\text{O})$  — ?

Р е ш е н и е.

1. Найдем молярную массу фосфата натрия:

$$M(\text{Na}_3\text{PO}_4) = 3 \cdot M(\text{Na}) + M(\text{P}) + 4 \cdot M(\text{O}) = 164 \text{ г/моль}.$$

2. Найдем массовую долю кислорода в фосфате натрия:

$$\omega(\text{O}) = \frac{4 \cdot M(\text{O})}{M(\text{Na}_3\text{PO}_4)} \cdot 100\% = \frac{4 \cdot 16 \text{ г/моль}}{164 \text{ г/моль}} \cdot 100\% = 39\%.$$

О т в е т.  $\omega(\text{O}) = 39\%$ .

**2.8.** Определите массовую долю фосфора в смеси, содержащей 55 г фосфата натрия и 70 г дигидрофосфата натрия.

Д а н о.



$\omega(\text{P})$  — ?

Р е ш е н и е.

1. Найдем количество вещества фосфата натрия и дигидрофосфата натрия:

$$\nu(\text{Na}_3\text{PO}_4) = \frac{m(\text{Na}_3\text{PO}_4)}{M(\text{Na}_3\text{PO}_4)} = \frac{55 \text{ г}}{164 \text{ г/моль}} = 0,335 \text{ моль};$$

$$\nu(\text{NaH}_2\text{PO}_4) = \frac{m(\text{NaH}_2\text{PO}_4)}{M(\text{NaH}_2\text{PO}_4)} = \frac{70 \text{ г}}{120 \text{ г/моль}} = 0,583 \text{ моль}.$$

2. Найдем количество вещества фосфора, содержащегося в смеси солей:

$$\nu_1(\text{P}) = \nu(\text{Na}_3\text{PO}_4) = 0,335 \text{ моль};$$

$$\nu_2(\text{P}) = \nu(\text{NaH}_2\text{PO}_4) = 0,583 \text{ моль};$$

$$\nu(\text{P}) = \nu_1(\text{P}) + \nu_2(\text{P}) = 0,335 \text{ моль} + 0,583 \text{ моль} = 0,918 \text{ моль}.$$

3. Найдем массу фосфора в смеси:

$$m(\text{P}) = \nu(\text{P}) \cdot M(\text{P}) = 0,918 \text{ моль} \cdot 31 \text{ г/моль} = 28,46 \text{ г}.$$

4. Найдем массу смеси:

$$m(\text{смеси}) = m(\text{Na}_3\text{PO}_4) + m(\text{NaH}_2\text{PO}_4) = 55 \text{ г} + 70 \text{ г} = 125 \text{ г}.$$

5. Найдем массовую долю фосфора в смеси:

$$\omega(\text{P}) = \frac{m(\text{P})}{m(\text{смеси})} \cdot 100\% = \frac{28,46 \text{ г}}{125 \text{ г}} \cdot 100\% = 22,77\%.$$

О т в е т.  $\omega(\text{P}) = 22,77\%$ .

**2.9.** Массовая доля серы в техническом сульфате натрия равна 20,48%. Рассчитайте массовую долю примесей в данном продукте (в %).

Д а н о.

$$\omega(\text{S}) = 20,48\%$$

$$\omega(\text{примесей}) = ?$$

Р е ш е н и е.

1. Возьмем порцию смеси массой 100 г. Найдем массу серы в этой порции:

$$m(\text{S}) = \frac{m(\text{смеси}) \cdot \omega(\text{S})}{100\%} = \frac{100 \text{ г} \cdot 20,48\%}{100\%} = 20,48 \text{ г}.$$



2. Вычислим количество вещества серы в данном образце:

$$\nu(\text{S}) = \frac{m(\text{S})}{M(\text{S})} = \frac{20,48 \text{ г}}{32 \text{ г/моль}} = 0,64 \text{ моль.}$$

3. Учитывая, что количество вещества серы равно количеству сульфата натрия в техническом образце:

$$\nu(\text{S}) = \nu(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 0,64 \text{ моль,}$$

найдем массу сульфата натрия:

$$\begin{aligned} m(\text{Na}_2\text{SO}_4) &= \nu(\text{Na}_2\text{SO}_4) \cdot M(\text{Na}_2\text{SO}_4) = \\ &= 0,64 \text{ моль} \cdot 142 \text{ г/моль} = 90,88 \text{ г.} \end{aligned}$$

4. Найдем массу примесей в техническом сульфате натрия:

$$\begin{aligned} m(\text{примесей}) &= m(\text{смеси}) - m(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 100 \text{ г} - \\ &- 90,88 \text{ г} = 9,12 \text{ г.} \end{aligned}$$

5. Найдем массовую долю примесей в техническом сульфате натрия:

$$\begin{aligned} \omega(\text{примесей}) &= \frac{m(\text{примесей})}{m(\text{смеси})} \cdot 100\% = \\ &= \frac{9,12 \text{ г}}{100 \text{ г}} \cdot 100\% = 9,12\%. \end{aligned}$$

О т в е т.  $\omega(\text{примесей}) = 9,12\%$ .

**2.10.** Плотность смеси оксида азота (II) и оксида азота (IV) по водороду равна 17,8. Найдите массовую долю оксида азота (IV) в данной смеси.

Д а н о.

$$D_{\text{H}_2}(\text{смеси}) = 17,8$$

$$\omega(\text{NO}_2) = ?$$

Р е ш е н и е.

1. Возьмем порцию смеси количеством вещества 1 моль. Найдем массу 1 моль смеси:

$$\begin{aligned} M(\text{смеси}) &= D_{\text{H}_2} \cdot M(\text{H}_2) = 17,8 \cdot 2 \text{ г/моль} = \\ &= 35,6 \text{ г/моль.} \end{aligned}$$

2. Пусть количество вещества  $\text{NO}_2$  в данном образце  $x$  моль. Тогда количество вещества  $\text{NO}$  будет равно:

$$\nu(\text{NO}) = \nu(\text{смеси}) - \nu(\text{NO}_2) = (1 - x) \text{ моль.}$$

3. Выразим массы оксидов азота (II) и (IV):

$$m(\text{NO}_2) = \nu(\text{NO}_2) \cdot M(\text{NO}_2) = x \text{ моль} \cdot 46 \text{ г/моль} = 46x \text{ г};$$

$$m(\text{NO}) = \nu(\text{NO}) \cdot M(\text{NO}) = (1 - x) \text{ моль} \cdot 30 \text{ г/моль} = 30(1 - x) \text{ г}.$$

4. Учитывая, что сумма масс оксидов равна массе смеси, составим уравнение:

$$m(\text{NO}_2) + m(\text{NO}) = m(\text{смеси});$$

$$46x + 30(1 - x) = 35,6.$$

5. Решая уравнение, получим:

$$x = 0,35, \text{ т. е. } \nu(\text{NO}_2) = 0,35 \text{ моль}.$$

6. Найдем массу оксида азота (IV):

$$m(\text{NO}_2) = \nu(\text{NO}_2) \cdot M(\text{NO}_2) = 0,35 \text{ моль} \cdot 46 \text{ г/моль} = 16,1 \text{ г}.$$

7. Найдем массовую долю оксида азота (IV) в смеси:

$$\omega(\text{NO}_2) = \frac{m(\text{NO}_2)}{m(\text{смеси})} \cdot 100\% = \frac{16,1 \text{ г}}{35,6 \text{ г}} \cdot 100\% = 45,2\%.$$

$$\text{О т в е т. } \omega(\text{NO}_2) = 45,2\%.$$

### ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

2.11. Какова массовая доля железа в сплаве, содержащем 13,44 г железа и 14,75 г никеля?

$$\text{О т в е т. } \omega(\text{Fe}) = 47,68\%.$$

2.12. В смеси содержится  $3,01 \cdot 10^{23}$  молекул кислорода и  $1,505 \cdot 10^{23}$  молекул азота. Вычислите массовые и объемные доли компонентов смеси.

$$\text{О т в е т. } \omega(\text{O}_2) = 69,57\%, \quad \omega(\text{N}_2) = 30,43\%, \\ \varphi(\text{O}_2) = 66,67\%, \quad \varphi(\text{N}_2) = 33,33\%.$$

2.13. Смешали 14 г оксида углерода (II), 6,72 л (н. у.) гелия и  $1,806 \cdot 10^{23}$  молекул азота. Найдите массовую долю азота в данной смеси.

$$\text{О т в е т. } \omega(\text{N}_2) = 35,6\%.$$

**2.14.** Какова объемная доля аммиака в смеси, содержащей 34 г аммиака и 18 г водорода?

О т в е т.  $\varphi(\text{NH}_3) = 18,18\%$ .

**2.15.** Объемная доля углекислого газа в смеси с сернистым газом равна 35%. Определите массовую долю углекислого газа.

О т в е т.  $\omega(\text{CO}_2) = 27\%$ .

**2.16.** Объемная доля водорода в смеси составляет 0,3. Найдите объем смеси (в л), в которой содержится 14 г водорода.

О т в е т.  $V(\text{смеси}) = 522,67 \text{ л}$ .

**2.17.** Молярные доли алюминия, меди и олова в сплаве равны соответственно 0,2, 0,5 и 0,3. Найдите массовые доли металлов в данном сплаве.

О т в е т.  $\omega(\text{Al}) = 7,39\%$ ,  $\omega(\text{Cu}) = 43,78\%$ ,  $\omega(\text{Sn}) = 48,83\%$ .

**2.18.** В 70 г воды растворили 3,36 л (н. у.) хлороводорода. Вычислите массовую и молярную долю хлороводорода в растворе.

О т в е т.  $\omega(\text{HCl}) = 7,25\%$ ,  $\chi(\text{HCl}) = 3,71\%$ .

**2.19.** Какую массу гидроксида натрия необходимо растворить в 80 г воды, чтобы массовая доля NaOH в полученном растворе составила 11,1%?

О т в е т.  $m(\text{NaOH}) = 10 \text{ г}$ .

**2.20.** В каком объеме воды (в мл) необходимо растворить 60 г хлорида натрия, чтобы массовая доля соли в полученном растворе составила 15%?

О т в е т.  $V(\text{H}_2\text{O}) = 340 \text{ мл}$ .

**2.21.** В 100 г воды растворили 100 г медного купороса ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ). Определите массовую долю ионов меди в полученном растворе.

О т в е т.  $\omega(\text{Cu}^{2+}) = 12,8\%$ .

**2.22.** Какая масса воды требуется для получения 180 г 10% -ного раствора хлорида кальция из кристаллогидрата, формула которого  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ?

О т в е т.  $m(\text{H}_2\text{O}) = 144,5$  г.

**2.23.** Какую массу кристаллогидрата, формула которого  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ , нужно растворить в 300 мл воды для получения раствора с массовой долей нитрата меди (II) 5% ?

О т в е т.  $m(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}) = 20,57$  г.

**2.24.** Вычислите массу воды, в которой необходимо растворить 56,2 г кристаллогидрата  $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  для получения 12,5% -ного раствора сульфата кобальта (II).

О т в е т.  $m(\text{H}_2\text{O}) = 191,8$  г.

**2.25.** В каком объеме воды необходимо растворить 4,48 л хлороводорода для получения 15% -ной соляной кислоты?

О т в е т.  $V(\text{H}_2\text{O}) = 41,37$  мл.

**2.26.** Какую массу гидроксида калия и какой объем воды нужно взять для приготовления 114,5 мл 25% -ного раствора гидроксида калия (плотность — 1,24 г/мл)?

О т в е т.  $m(\text{KOH}) = 35,5$  г;  $V(\text{H}_2\text{O}) = 106,5$  мл.

**2.27.** В смеси двух газов на каждую молекулу  $\text{CO}_2$  приходится 9 молекул  $\text{CO}$ . Определите массовую долю (в %) углекислого газа в смеси.

О т в е т.  $\omega(\text{CO}_2) = 14,86\%$ .

**2.28.** Смесь содержит  $4,214 \cdot 10^{23}$  молекул оксида серы (IV) и  $6,622 \cdot 10^{23}$  молекул кислорода. Определите массовые доли газов в данной смеси.

О т в е т.  $\omega(\text{O}_2) = 44\%$ ,  $\omega(\text{SO}_2) = 56\%$ .

**2.29.** Смесь углекислого газа с кислородом содержит  $3,311 \cdot 10^{23}$  атомов углерода и  $1,3846 \cdot 10^{24}$

атомов кислорода. Определите плотность данной смеси по водороду.

О т в е т.  $D_{H_2}$  (смеси) = 18,87.

**2.30.** Смесь оксида азота (II) и оксида азота (IV) содержит  $3,913 \cdot 10^{23}$  атомов азота и  $5,418 \cdot 10^{23}$  атомов кислорода. Определите массовую долю оксида азота (II) в этой смеси.

О т в е т.  $\omega(NO) = 51\%$ .

**2.31.** К 180 г 15% -ного раствора гидроксида натрия добавили 11 г NaOH. Определите массовую долю (в %) гидроксида натрия в полученном растворе.

О т в е т.  $\omega(NaOH) = 19,9\%$ .

**2.32.** К 80 г 10% -ного раствора серной кислоты добавили 30 мл воды. Какова массовая доля кислоты в полученном растворе?

О т в е т.  $\omega(H_2SO_4) = 7,3\%$ .

**2.33.** Из 200 г раствора хлорида натрия с массовой долей соли 16% выпарили 40 г воды. Определите массовую долю соли в полученном растворе.

О т в е т.  $\omega(NaCl) = 20\%$ .

**2.34.** При охлаждении 320 г 20% -ного раствора соли в осадок выпало 19 г соли. Вычислите массовую долю соли в растворе после охлаждения.

О т в е т.  $\omega_2(\text{соли}) = 14,95\%$ .

**2.35.** К 405,4 мл раствора нитрата калия ( $\rho = 1,036$  г/мл) с массовой долей соли 20% добавили 80 мл воды. Какова массовая доля соли в полученном растворе?

О т в е т.  $\omega(KNO_3) = 16,8\%$ .

**2.36.** К 80 г 15% -ного раствора хлорида железа (II) добавили 70 г 10% -ного раствора того же вещества. Какова массовая доля соли в полученном растворе?

О т в е т.  $\omega(FeCl_2) = 12,7\%$ .

**2.37.** Смешали 208,14 мл 20%-ного раствора хлорида аммония ( $\rho = 1,057$  г/мл) и 167,91 мл 25%-ного раствора той же соли ( $\rho = 1,072$  г/мл). Вычислите массовую долю соли в полученном растворе.

О т в е т.  $\omega_2(\text{NH}_4\text{Cl}) = 22,24\%$ .

**2.38.** К 160 г раствора с массовой долей хлорида калия 25% добавили еще 240 г раствора того же вещества, в результате чего массовая доля соли в полученном растворе снизилась до 16%. Вычислите массовую долю соли в растворе, который добавляли.

О т в е т.  $\omega(\text{KCl}) = 10\%$ .

**2.39.** К 300 г раствора сульфата меди (II), массовая доля соли в котором 5%, добавили 50 г кристаллогидрата, формула которого  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ . Определите массовую долю соли в полученном растворе.

О т в е т.  $\omega(\text{CuSO}_4) = 13,43\%$ .

**2.40.** Сколько граммов  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  нужно добавить к 600 г 8%-ного раствора сульфата натрия, чтобы получить раствор с массовой долей 15%?

О т в е т.  $m(\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = 144,9$  г.

**2.41.** При прибавлении к 200 г раствора сульфата меди (II) 50 г медного купороса ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) был получен раствор с массовой долей соли 25%. Определите массовую долю соли в исходном растворе.

О т в е т.  $\omega(\text{CuSO}_4) = 15,25\%$ .

**2.42.** Какой объем раствора с массовой долей сульфата магния 10% и плотностью 1,1 г/мл нужно добавить к 123 г кристаллогидрата, формула которого  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , чтобы получить раствор с массовой долей соли 15%?

О т в е т.  $V_{\text{р-ра}}(\text{MgSO}_4) = 755,5$  мл.

**2.43.** Массовые доли азота и аргона в смеси составляют соответственно 35 и 65%. Определите плотность данной смеси по водороду.

О т в е т.  $D_{H_2}(\text{смеси}) = 17,39$ .

**2.44.** Объемная доля сероводорода в смеси с хлороводородом составляет 31%. Вычислите массовую долю сероводорода в данной смеси.

О т в е т.  $\omega(H_2S) = 29,5\%$ .

**2.45.** Найдите массовую долю алюминия и число атомов алюминия в 88 г технического сульфата алюминия, содержащего 12% примесей.

О т в е т.  $\omega(Al) = 15,79\%$ ,  $N(Al) = 2,72 \cdot 10^{23}$ .

**2.46.** Образец технического фосфата кальция содержит  $4,515 \cdot 10^{23}$  атомов фосфора. Определите массу данного образца, если массовая доля примесей в нем 8%.

О т в е т.  $m_{\text{техн}}(Ca_3(PO_4)_2) = 126,36 \text{ г}$ .

**2.47.** Вычислите массовую долю азота в смеси, содержащей 59,5 г нитрата натрия и 20,7 г нитрита натрия.

О т в е т.  $\omega(N) = 17,46\%$ .

**2.48.** Вычислите массовую долю кристаллизационной воды в медном купоросе ( $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ ).

О т в е т.  $\omega(H_2O) = 36\%$ .

**2.49.** Какая масса железа может быть получена из 1 т смеси оксидов  $FeO$  и  $Fe_2O_3$ , если массовая доля оксида железа (II) — 35%, а оксида железа (III) — 65%?

О т в е т.  $m(Fe) = 727 \text{ кг}$ .

**2.50.** Вычислите массовую долю сульфида меди (II) в руде, если известно, что из 800 кг руды можно получить 250 кг меди.

О т в е т.  $\omega(CuS) = 46,87\%$ .

**2.51.** Суперфосфат представляет собой смесь дигидрофосфата кальция с сульфатом кальция. Вы-

числите массовую долю дигидрофосфата кальция в смеси, если массовая доля фосфора в суперфосфате 8,3%.

О т в е т.  $\omega(\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2) = 31,3\%$ .

**2.52.** Массовые доли аргона и гелия в смеси равны. Вычислите объемные доли газов в этой смеси.

О т в е т.  $\varphi(\text{Ar}) = 9,1\%$ ,  $\varphi(\text{He}) = 90,9\%$ .

**2.53.** Смесь углекислого газа и оксида азота (IV) содержит  $5,117 \cdot 10^{23}$  молекул оксида азота (IV). Объемная доля  $\text{NO}_2$  в этой смеси равна 0,34. Какова плотность этой смеси по воздуху?

О т в е т.  $D_{\text{возд}}(\text{смеси}) = 1,54$ .

**2.54.** Плотность смеси кислорода с хлором по гелию равна 11,9. Найдите массовые доли компонентов смеси.

О т в е т.  $\omega(\text{Cl}_2) = 59,66\%$ ,  $\omega(\text{O}_2) = 40,34\%$ .

## Вывод формул соединений

### ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

При определении формул химических соединений необходимо различать простейшую (или эмпирическую) формулу соединения и его истинную (или молекулярную) формулу.

*Простейшая, или эмпирическая, формула* показывает соотношение числа атомов каждого элемента в молекуле (формульной единице) вещества. Например, простейшая формула оксида фосфора (V)  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Она показывает, что на каждые 2 атома фосфора в молекуле данного оксида приходится 5 атомов кислорода.

*Истинная, или молекулярная, формула* показывает точный качественный и количественный состав одной молекулы данного соединения. Так, истинная формула оксида фосфора (V)  $\text{P}_4\text{O}_{10}$ . Она показывает, что одна молекула данного оксида об-



разована четырьмя атомами фосфора и десятью атомами кислорода.

При выводе простейшей формулы соединения необходимо помнить, что индексы в ней пропорциональны количествам вещества элементов, образующих данное соединение и содержащихся в определенной порции данного вещества. Например, 1 моль воды содержит 2 моль атомов водорода и 1 моль атомов кислорода (т. е.  $\nu(\text{H}) : \nu(\text{O}) = 2 : 1$ , а формула воды —  $\text{H}_2\text{O}$ ). Таким образом, чтобы определить простейшую формулу вещества, необходимо рассчитать количество вещества элементов, образующих данное соединение.

Чтобы установить истинную, или молекулярную, формулу, необходимо знать относительную молекулярную (или молярную) массу данного соединения. Молекулярная масса в целое число раз больше массы, которая отвечает простейшей формуле. На это число нужно умножить индексы в простейшей формуле, чтобы получить молекулярную формулу. Например, простейшая формула глюкозы  $\text{CH}_2\text{O}$ , относительная молекулярная масса, отвечающая этой формуле, равна 30. Истинная относительная молекулярная масса глюкозы равна 180, т. е. в 6 раз больше. Таким образом, истинная формула глюкозы  $(\text{CH}_2\text{O})_6$ , или  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ .

## СПОСОБЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

**3.1.** Массовые доли железа и серы в соединении равны соответственно 46,67 и 53,33%. Определите формулу этого соединения.

Д а н о.

$$\omega(\text{Fe}) = 46,67\%$$

$$\omega(\text{S}) = 53,33\%$$

$$\text{Fe}_x\text{S}_y - ?$$

Р е ш е н и е.

1. Для расчетов возьмем образец соединения железа массой 100 г. Вычислим массы железа и серы, входящие в состав данного образца:

$$m(\text{Fe}) = \frac{\omega(\text{Fe}) \cdot m(\text{Fe}_x\text{S}_y)}{100\%} = \frac{46,67\% \cdot 100 \text{ г}}{100\%} = 46,67 \text{ г};$$

$$m(\text{S}) = \frac{\omega(\text{S}) \cdot m(\text{Fe}_x\text{S}_y)}{100\%} = \frac{53,33\% \cdot 100 \text{ г}}{100\%} = 53,33 \text{ г}.$$

2. Найдем количества веществ железа и серы в образце соединения:

$$\nu(\text{Fe}) = \frac{m(\text{Fe})}{M(\text{Fe})} = \frac{46,67 \text{ г}}{56 \text{ г/моль}} = 0,83 \text{ моль};$$

$$\nu(\text{S}) = \frac{m(\text{S})}{M(\text{S})} = \frac{53,33 \text{ г}}{32 \text{ г/моль}} = 1,66 \text{ моль}.$$

3. Зная, что количества веществ элементов, образующих соединение, пропорциональны индексам в его формуле, выведем отношение для индексов в формуле  $\text{Fe}_x\text{S}_y$ :

$$\nu(\text{Fe}) : \nu(\text{S}) = x : y = 0,83 : 1,66.$$

4. Для того чтобы перейти к целым числам, разделим правую часть равенства на наименьшее из чисел этого соотношения:

$$x : y = \frac{0,83}{0,83} : \frac{1,66}{0,83} = 1 : 2.$$

Таким образом, формула соединения железа  $\text{FeS}_2$ .

О т в е т.  $\text{FeS}_2$ .

**3.2.** Массовая доля азота в оксиде азота равна 36,84%. Выведите простейшую формулу данного оксида.

Д а н о.

$$\omega(\text{N}) = 36,84\%$$

$$\text{N}_x\text{O}_y - ?$$

Р е ш е н и е.

1. Для расчетов возьмем образец оксида азота массой 100 г. Найдем массу азота в данном образце:

$$m(\text{N}) = \frac{\omega(\text{N}) \cdot m(\text{N}_x\text{O}_y)}{100\%} = \frac{36,84\% \cdot 100 \text{ г}}{100\%} = 36,84 \text{ г}.$$

2. Найдем массу кислорода в данном образце:  
 $m(\text{O}) = m(\text{N}_x\text{O}_y) - m(\text{N}) = 100 \text{ г} - 36,84 \text{ г} = 63,16 \text{ г}.$

3. Найдем количество вещества атомов азота и кислорода:

$$\nu(\text{N}) = \frac{m(\text{N})}{M(\text{N})} = \frac{36,84 \text{ г}}{14 \text{ г/моль}} = 2,6314 \text{ моль};$$

$$\nu(\text{O}) = \frac{m(\text{O})}{M(\text{O})} = \frac{63,16 \text{ г}}{16 \text{ г/моль}} = 3,9475 \text{ моль}.$$

4. Найдем соотношение количеств вещества азота и кислорода в данном оксиде и определим соотношение индексов в формуле оксида:

$$\begin{aligned} x : y &= \nu(\text{N}) : \nu(\text{O}) = 2,63 : 3,95 = \\ &= \frac{2,63}{2,63} : \frac{3,95}{2,63} = 1 : 1,5. \end{aligned}$$

5. Чтобы перейти к целочисленным значениям индексов, необходимо цифры в правой части равенства умножить на 2:

$$x : y = 1 : 1,5 = 2 : 3.$$

Таким образом, простейшая формула оксида  $\text{N}_2\text{O}_3$ .

О т в е т.  $\text{N}_2\text{O}_3$ .

**3.3.** Массовая доля серы в ее оксиде в 1,5 раза меньше массовой доли кислорода. Определите простейшую формулу оксида.

Д а н о.

$$\frac{\omega(\text{S})}{\omega(\text{O})} = \frac{1}{1,5}$$

$\text{S}_x\text{O}_y$  — ?

Р е ш е н и е.

1. Учитывая, что по условию задачи  $\omega(\text{O}) = \omega(\text{S}) \cdot 1,5$ , а сумма массовых долей кислорода и серы равна 100%, найдем массовые доли O и S:

$$\omega(\text{S}) + \omega(\text{O}) = \omega(\text{S}) + 1,5 \cdot \omega(\text{S}) = 100\%;$$

$$2,5 \cdot \omega(\text{S}) = 100\%;$$

$$\omega(\text{S}) = \frac{100\%}{2,5} = 40\%;$$

$$\omega(\text{O}) = 1,5 \omega(\text{S}) = 1,5 \cdot 40\% = 60\%.$$

2. Для расчетов возьмем образец оксида серы массой 100 г. Массы серы и кислорода в данном образце равны соответственно:

$$m(\text{S}) = \frac{\omega(\text{S}) \cdot m(\text{S}_x\text{O}_y)}{100\%} = 40 \text{ г};$$

$$m(\text{O}) = \frac{\omega(\text{O}) \cdot m(\text{S}_x\text{O}_y)}{100\%} = 60 \text{ г}.$$

3. Найдем количество вещества атомов кислорода и серы:

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

$$\nu(\text{O}) = \frac{m(\text{O})}{M(\text{O})} = \frac{60 \text{ г}}{16 \text{ г/моль}} = 3,75 \text{ моль}.$$

4. Определим индексы в простейшей формуле оксида:

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

Таким образом, простейшая формула оксида  $\text{SO}_3$ .

О т в е т.  $\text{SO}_3$ .

**3.4.** Элемент образует оксид состава  $\text{ЭO}_2$ . Плотность оксида по воздуху равна 1,586. Определите неизвестный элемент.

Д а н о.

$$D_{\text{возд}}(\text{ЭO}_2) = 1,586$$

Э — ?

Р е ш е н и е.

1. Зная плотность оксида по водороду, найдем молярную массу оксида:

$$M(\text{ЭO}_2) = D_{\text{возд}}(\text{ЭO}_2) \cdot 29 \text{ г/моль} = 46 \text{ г/моль}.$$

2. Зная формулу оксида, определим молярную массу неизвестного элемента:

$$M(\text{Э}) = M(\text{ЭO}_2) - 2 \cdot M(\text{O}),$$

$$M(\text{Э}) = 46 \text{ г/моль} - 2 \cdot 16 \text{ г/моль} = 14 \text{ г/моль}.$$

3. По Периодической системе элементов определяем, что неизвестный элемент — азот, так как  $M(\text{N}) = 14 \text{ г/моль}$ .

О т в е т. Э — азот.

**3.5.** Азот образует оксид, плотность паров которого по гелию равна 19, а массовая доля кислорода в нем — 63,16%. Определите молекулярную формулу неизвестного оксида.

Д а н о.

$$D_{\text{He}}(\text{N}_x\text{O}_y) = 19$$

$$\omega(\text{O}) = 63,16\%$$

---


$$\text{N}_x\text{O}_y - ?$$

Р е ш е н и е.

1. Зная плотность оксида азота по гелию, найдем молярную массу оксида:

$$M(\text{N}_x\text{O}_y) = D_{\text{He}}(\text{N}_x\text{O}_y) \times \times M(\text{He}) = 4 \text{ г/моль} \cdot 19 = = 76 \text{ г/моль}.$$

2. Так как нам известна массовая доля кислорода в данном оксиде, рассчитаем массу кислорода в 1 моль данного оксида, т. е. в 76 г:

$$m(\text{O}) = \frac{m(\text{N}_x\text{O}_y) \cdot \omega(\text{O})}{100\%} = \frac{76 \text{ г} \cdot 63,16\%}{100\%} = 48 \text{ г}.$$

3. Найдем число атомов кислорода в 1 моль данного оксида:

$$y = \frac{m(\text{O})}{M(\text{O})} = \frac{48 \text{ г}}{16 \text{ г/моль}} = 3 \text{ моль}.$$

4. Найдем массу азота в 1 моль  $\text{N}_x\text{O}_y$ :

$$m(\text{N}) = m(\text{N}_x\text{O}_y) - m(\text{O}) = 76 \text{ г} - 48 \text{ г} = 28 \text{ г}.$$

5. Найдем число атомов азота в 1 моль данного оксида:

$$x = \frac{m(\text{N})}{M(\text{N})} = \frac{28 \text{ г}}{14 \text{ г/моль}} = 2 \text{ моль}.$$

Таким образом, формула оксида —  $\text{N}_2\text{O}_3$ .

О т в е т.  $\text{N}_2\text{O}_3$ .

**3.6.** Плотность по водороду смеси оксида серы (IV) и одного из оксидов азота равна 20,1, массовая доля оксида азота в смеси 52,24%, а массовая доля азота в оксиде — 46,67%. Определите молекулярную формулу оксида азота.

Д а н о.

$$D_{H_2}(\text{смеси}) = 20,1$$

$$\omega(N_xO_y) = 52,24\%$$

$$\omega(O) = 46,67\%$$

$$N_xO_y - ?$$

Р е ш е н и е.

1. По значению плотности по водороду определим массу 1 моль смеси:

$$M(\text{смеси}) = D_{H_2}(\text{смеси}) \times \times M(H_2) = 20,1 \cdot 2 = 40,2 \text{ г/моль.}$$

2. Рассчитаем массу оксида азота в 1 моль смеси:

$$m(N_xO_y) = \frac{m(\text{смеси}) \cdot \omega(N_xO_y)}{100\%} = \frac{40,2 \text{ г} \cdot 52,24\%}{100\%} = 21 \text{ г.}$$

3. Найдем массу и количество вещества  $SO_2$  в 1 моль смеси:

$$m(SO_2) = m(\text{смеси}) - m(N_xO_y) = 40,2 \text{ г} - 21 \text{ г} = 19,2 \text{ г};$$

$$\nu(SO_2) = \frac{m(SO_2)}{M(SO_2)} = \frac{19,2 \text{ г}}{64 \text{ г/моль}} = 0,3 \text{ моль.}$$

4. Зная, что общее количество вещества смеси газов — 1 моль, найдем количество вещества  $N_xO_y$ :

$$\nu(N_xO_y) = \nu(\text{смеси}) - \nu(SO_2) = 1 \text{ моль} - 0,3 \text{ моль} = 0,7 \text{ моль.}$$

5. Найдем молярную массу неизвестного оксида азота:

$$M(N_xO_y) = \frac{m(N_xO_y)}{\nu(N_xO_y)} = \frac{21 \text{ г}}{0,7 \text{ моль}} = 30 \text{ г/моль.}$$

6. Вычислим массу и количество вещества азота в 1 моль его оксида:

$$m(N) = \frac{m(N_xO_y) \cdot \omega(N)}{100\%} = \frac{30 \text{ г} \cdot 46,67\%}{100\%} = 14 \text{ г};$$

$$\nu(N) = \frac{m(N)}{M(N)} = \frac{14 \text{ г}}{14 \text{ г/моль}} = 1 \text{ моль.}$$

7. Вычислим массу и количество вещества кислорода в 1 моль этого оксида:

$$m(O) = m(N_xO_y) - m(N) = 30 \text{ г} - 14 \text{ г} = 16 \text{ г};$$

$$\nu(O) = \frac{m(O)}{M(O)} = \frac{16 \text{ г}}{16 \text{ г/моль}} = 1 \text{ моль.}$$

8. Определим соотношение количеств вещества элементов в 1 моль оксида:

$$x : y = \nu(\text{N}) : \nu(\text{O}) = 1 : 1.$$

Таким образом, формула оксида — NO.

О т в е т. NO.

3.7. Из 185,6 г оксида железа при восстановлении было получено 134,4 г железа. Какова формула данного оксида?

Д а н о.

$$m(\text{Fe}_x\text{O}_y) = 185,6 \text{ г}$$

$$m(\text{Fe}) = 134,4 \text{ г}$$

---

$$\text{Fe}_x\text{O}_y - ?$$

Р е ш е н и е.

1. Согласно закону сохранения массы веществ, масса железа, полученного при восстановлении оксида железа, равна массе

железа, входившего в состав данного оксида. Учитывая это, найдем массу кислорода, входившего в состав оксида:

$$m(\text{O}) = m(\text{Fe}_x\text{O}_y) - m(\text{Fe}) = 185,6 \text{ г} - 134,4 \text{ г} = 51,2 \text{ г}.$$

2. Найдем количества веществ железа и кислорода, входящих в состав оксида:

$$\nu(\text{Fe}) = \frac{m(\text{Fe})}{M(\text{Fe})} = \frac{134,4 \text{ г}}{56 \text{ г/моль}} = 2,4 \text{ моль};$$

$$\nu(\text{O}) = \frac{m(\text{O})}{M(\text{O})} = \frac{51,2 \text{ г}}{16 \text{ г/моль}} = 3,2 \text{ моль}.$$

3. Зная, что индексы в формулах веществ пропорциональны количествам веществ элементов, входящих в состав данного вещества, составим отношение:

$$x : y = \nu(\text{Fe}) : \nu(\text{O}) = 2,4 : 3,2 = 1 : 1,333.$$

4. Чтобы перейти к целочисленным значениям индексов, необходимо цифры в правой части равенства умножить на 3:

$$x : y = (1 \cdot 3) : (1,333 \cdot 3) = 3 : 4.$$

5. Таким образом, формула оксида  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .

О т в е т.  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .

**3.8.** Массы углерода и водорода, входящие в состав газа, занимающего объем 16,8 л (н. у.), равны соответственно 18 и 4,5 г. Определите истинную формулу газа.

Д а н о.

$$V(\text{C}_x\text{H}_y) = 16,8 \text{ л}$$

$$m(\text{C}) = 18 \text{ г}$$

$$m(\text{H}) = 4,5 \text{ г}$$

$$\text{C}_x\text{H}_y - ?$$

Р е ш е н и е.

1. Вычислим количества веществ атомов углерода и водорода в данном образце соединения  $\text{C}_x\text{H}_y$ :

$$\nu(\text{C}) = \frac{m(\text{C})}{M(\text{C})} = \frac{18 \text{ г}}{12 \text{ г/моль}} = 1,5 \text{ моль};$$

$$\nu(\text{H}) = \frac{m(\text{H})}{M(\text{H})} = \frac{4,5 \text{ г}}{1 \text{ г/моль}} = 4,5 \text{ моль}.$$

2. По соотношению количеств веществ азота и водорода определим простейшую формулу соединения:

$$x : y = \nu(\text{C}) : \nu(\text{H}) = 1,5 : 4,5 = 1 : 3.$$

Следовательно, простейшая формула соединения —  $\text{CH}_3$ .

Истинная формула соединения —  $(\text{CH}_3)_n$ , где  $n$  — целое положительное число.

3. Найдем количество вещества образца соединения  $(\text{CH}_3)_n$ , его массу и молярную массу:

$$\nu((\text{CH}_3)_n) = \frac{V((\text{CH}_3)_n)}{V_m} = \frac{16,8 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} = 0,75 \text{ моль};$$

$$m((\text{CH}_3)_n) = m(\text{C}) + m(\text{H}) = 18 \text{ г} + 4,5 \text{ г} = 22,5 \text{ г};$$

$$M((\text{CH}_3)_n) = \frac{m((\text{CH}_3)_n)}{\nu((\text{CH}_3)_n)} = \frac{22,5 \text{ г}}{0,75 \text{ моль}} = 30 \text{ г/моль}.$$



4. Находим истинную формулу вещества:

$$n = \frac{M((\text{CH}_3)_n)}{M(\text{CH}_3)} = \frac{30 \text{ г/моль}}{15 \text{ г/моль}} = 2, \text{ следовательно,}$$

истинная формула вещества  $(\text{CH}_3)_2$ , или  $\text{C}_2\text{H}_6$ .

О т в е т.  $\text{C}_2\text{H}_6$ .

**3.9.** Отношение молярных масс хлорида и оксида металла (М), в которых металл проявляет степень окисления +2, равно 1,679. Определите неизвестный металл.

Д а н о.

$$\frac{M(\text{MCl}_2)}{M(\text{MO})} = 1,679$$

М — ?

Р е ш е н и е.

1. Пусть молярная масса неизвестного металла —  $x$  г/моль. Тогда молярные массы его хлорида и оксида будут соответственно равны:

$$M(\text{MCl}_2) = M(\text{M}) + 2 \cdot M(\text{Cl}) = x \text{ г/моль} + 2 \cdot 35,5 \text{ г/моль} = (x + 71) \text{ г/моль};$$

$$M(\text{MO}) = M(\text{M}) + M(\text{O}) = x \text{ г/моль} + 16 \text{ г/моль} = (x + 16) \text{ г/моль}.$$

2. По условию задачи отношение молярных масс хлорида и оксида металла равно 1,679. Составим уравнение:

$$\frac{M(\text{MCl})}{M(\text{MO})} = \frac{(x + 71) \text{ г/моль}}{(x + 16) \text{ г/моль}} = 1,679;$$

$$\frac{x + 71}{x + 16} = 1,679.$$

Решая уравнение, определяем, что  $x = 65$ . Пользуясь Периодической системой элементов, находим, что неизвестный металл — цинк.

О т в е т. Цинк.

**3.10.** Элементы X и Y образуют с хлором соединения состава  $\text{XYCl}_2$  и  $\text{XY}_2\text{Cl}_2$ . Массовые доли хлора в этих соединениях равны соответственно 59,66

и 52,59%. Определите формулы неизвестных соединений.

Д а н о.

$$\omega(\text{Cl в } \text{XYCl}_2) = 59,66\%$$

$$\omega(\text{Cl в } \text{XY}_2\text{Cl}_2) = 52,59\%$$

$$\text{XYCl}_2 - ?$$

$$\text{XY}_2\text{Cl}_2 - ?$$

Р е ш е н и е.

1. Пользуясь формулой для определения массовой доли элемента в соединении, вычислим молярные массы соединений  $\text{XYCl}_2$  и  $\text{XY}_2\text{Cl}_2$ :

$$\omega(\text{Cl в } \text{XYCl}_2) = \frac{2 \cdot M(\text{Cl})}{M(\text{XYCl}_2)} \cdot 100\%, \text{ следовательно,}$$

$$\begin{aligned} M(\text{XYCl}_2) &= \frac{2 \cdot M(\text{Cl})}{\omega(\text{Cl в } \text{XYCl}_2)} \cdot 100\% = \\ &= \frac{2 \cdot 35,5 \text{ г/моль}}{59,66\%} \cdot 100\% = 119 \text{ г/моль.} \end{aligned}$$

Аналогично для  $\text{XY}_2\text{Cl}_2$ :

$$\begin{aligned} M(\text{XY}_2\text{Cl}_2) &= \frac{2 \cdot M(\text{Cl})}{\omega(\text{Cl в } \text{XY}_2\text{Cl}_2)} \cdot 100\% = \\ &= \frac{2 \cdot 35,5 \text{ г/моль}}{52,59\%} \cdot 100\% = 135 \text{ г/моль.} \end{aligned}$$

2. Найдем массы неизвестных элементов, входящих в состав первого и второго соединений:

$$\begin{aligned} M(\text{XY}) &= M(\text{XYCl}_2) - 2 \cdot M(\text{Cl}) = 119 \text{ г/моль} - \\ &- 2 \cdot 35,5 \text{ г/моль} = 48 \text{ г/моль;} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M(\text{XY}_2) &= M(\text{XY}_2\text{Cl}_2) - 2 \cdot M(\text{Cl}) = 135 \text{ г/моль} - \\ &- 2 \cdot 35,5 \text{ г/моль} = 64 \text{ г/моль.} \end{aligned}$$

3. Учитывая, что  $M(\text{XY}) = M(\text{X}) + M(\text{Y})$ , а  $M(\text{XY}_2) = M(\text{X}) + 2 \cdot M(\text{Y})$ , и обозначив  $M(\text{X})$  и  $M(\text{Y})$  соответственно как  $x$  и  $y$ , составим систему уравнений:

$$\begin{cases} x + y = 48, \\ x + 2y = 64, \end{cases}$$

решая которую получим, что  $x = 32$ ,  $y = 16$ .

Значит,  $M(\text{X}) = 32 \text{ г/моль}$ ,  $M(\text{Y}) = 16 \text{ г/моль}$ .

4. Пользуясь Периодической системой элементов, определяем, что X — это сера, а Y — это кислород. Таким образом, формулы неизвестных соединений —  $\text{SOCl}_2$  и  $\text{SO}_2\text{Cl}_2$ .

О т в е т.  $\text{SOCl}_2$  и  $\text{SO}_2\text{Cl}_2$ .

### ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

3.11. Массовые доли натрия, фосфора и кислорода в соединении равны соответственно 34,59, 23,31 и 42,15%. Определите формулу данного соединения.

О т в е т.  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ .

3.12. Определите формулу соединения калия с хромом и кислородом, если массовые доли этих элементов в данном соединении равны соответственно 26,53, 35,37 и 38,1%.

О т в е т.  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ .

3.13. Массовая доля фосфора в его оксиде равна 43,66%. Какова простейшая формула данного оксида?

О т в е т.  $\text{P}_2\text{O}_5$ .

3.14. Массовая доля свинца в его оксиде в 9,7 раза больше массовой доли кислорода. Какова формула данного оксида?

О т в е т.  $\text{Pb}_3\text{O}_4$ .

3.15. Массовая доля серы во фториде серы в 3,56 раза меньше массовой доли фтора. Определите формулу данного соединения.

О т в е т.  $\text{SF}_6$ .

3.16. Плотность по азоту водородного соединения неизвестного элемента равна 1,143. Элемент проявляет в этом соединении валентность, равную 4. Определите формулу неизвестного соединения.

О т в е т.  $\text{SiH}_4$ .

**3.17.** Бор образует с водородом соединение, плотность паров которого по хлору равна 0,761, а массовая доля водорода в нем — 18,52%. Какова молекулярная формула данного соединения?

О т в е т.  $B_4H_{10}$ .

**3.18.** Какова молекулярная формула хлорида серы, если плотность паров этого соединения по водороду равна 67,5, а массовая доля серы в нем 47,41%?

О т в е т.  $S_2Cl_2$ .

**3.19.** Из оксида ванадия массой 120 г было получено 81,6 г металла. Определите формулу оксида ванадия.

О т в е т.  $V_2O_3$ .

**3.20.** Из 1,289 т оксида вольфрама, массовая доля примесей в котором 10%, было получено 0,99 т металла. Определите формулу исходного оксида вольфрама.

О т в е т.  $WO_3$ .

**3.21.** Из 31,6 г селена было получено 62 г фторида селена. Определите формулу полученного соединения.

О т в е т.  $SeF_4$ .

**3.22.** Один литр газообразного соединения углерода с водородом (н. у.) имеет массу, равную 2,5 г. Массовая доля углерода в этом соединении равна 85,7%. Определите молекулярную формулу данного соединения.

О т в е т.  $C_4H_8$ .

**3.23.** Смесь газов содержит водородное соединение кремния и аргон, массовая доля которого 30%. Плотность данной смеси по воздуху 1,834. Определите молекулярную формулу водородного соединения кремния, если известно, что массовая доля водорода в нем 9,68%.

О т в е т.  $Si_2H_6$ .

**3.24.** Образец соединения азота с водородом, плотность паров которого по водороду равна 16, содержит  $1,806 \cdot 10^{23}$  атомов азота и  $3,612 \cdot 10^{23}$  атомов водорода. Какова молекулярная формула данного соединения?

О т в е т.  $N_2H_4$ .

**3.25.** Образец сульфида мышьяка массой 217 г содержит  $2,107 \cdot 10^{24}$  атомов серы. Определите формулу данного сульфида.

О т в е т.  $As_2S_5$ .

**3.26.** В образце оксида марганца массой 61,41 г содержится  $7,224 \cdot 10^{23}$  атомов кислорода. Найдите формулу данного оксида, если известно, что в данном образце имеется 15% примесей, не содержащих кислород.

О т в е т.  $MnO_2$ .

**3.27.** Определите формулу кристаллогидрата сульфата магния, если массовая доля кристаллизационной воды в нем равна 51,22%.

О т в е т.  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ .

**3.28.** Какова формула кристаллогидрата хлорида кальция, если в 80,85 г этого кристаллогидрата содержится  $1,3244 \cdot 10^{24}$  атомов водорода?

О т в е т.  $CaCl_2 \cdot 2H_2O$ .

**3.29.** Молярная масса оксида и бромида металла, имеющего в обоих соединениях степени окисления +3, относятся как 1 : 2,618. Какой металл образует данные соединения?

О т в е т. Алюминий.

**3.30.** Калий образует соединения с элементами X и Y, формулы которых  $K_2XY_3$  и  $K_2X_2Y_4$ . Массовые доли калия в этих соединениях равны соответственно 56,52 и 46,99%. Определите формулы неизвестных соединений.

О т в е т.  $K_2CO_3$ ,  $K_2C_2O_4$ .

**3.31.** При растворении 111,2 г кристаллогидрата в воде было получено 243,2 г раствора с массовой долей сульфата железа (II) 25%. Определите состав кристаллогидрата.

О т в е т.  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ .

**3.32.** При прокаливании 505,2 г кристаллогидрата иодида кобальта его масса уменьшилась на 129,6 г. Определите состав кристаллогидрата.

О т в е т.  $\text{CoI}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ .

**3.33.** Прокалили 265,05 г кристаллогидрата хлорида меди (II) до постоянной массы, которая составила 209,25 г. Каков состав данного кристаллогидрата?

О т в е т.  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .

# Количественные характеристики химического процесса

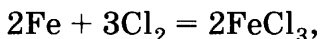
---

Расчет количества вещества, массы или объема исходных веществ и продуктов реакции

## ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

По химическим уравнениям можно рассчитать количество вещества, массу и объем реагирующих веществ и продуктов реакции. Для этого прежде всего необходимо составить уравнение химической реакции и верно расставить коэффициенты.

Расчеты по химическим уравнениям удобнее всего вести с использованием количеств веществ реагирующих и образующихся веществ. Количество вещества соединений, вступающих в химическую реакцию и образующихся в ее результате, пропорциональны друг другу и относятся друг к другу как коэффициенты перед формулами этих веществ в количественном уравнении. Например, реакции, которая описывается уравнением:



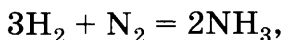
соответствует следующее соотношение между количествами веществ железа, хлора и хлорида железа (III):

$$\nu(\text{Fe}) : \nu(\text{Cl}_2) : \nu(\text{FeCl}_3) = 2 : 3 : 2.$$

Таким образом, зная количество вещества одного из реагирующих веществ или продуктов реакции, можно найти количества вещества других участников данной реакции, а по количеству вещества нетрудно рассчитать их массу или объем.

Следует отметить, что объемы вступивших в реакцию газообразных веществ и объемы газообраз-

ных продуктов реакции, измеренные при одинаковых условиях, также относятся друг к другу, как коэффициенты перед соответствующими формулами в уравнении химической реакции. Например, в реакции, уравнение которой



объемы реагирующих азота и водорода и объем образовавшегося аммиака связаны следующим соотношением:

$$V(\text{H}_2) : V(\text{N}_2) : V(\text{NH}_3) = 3 : 1 : 2.$$

Однако эти соотношения выполняются только между веществами, участвующими в одной и той же химической реакции. Если реагент участвует в двух параллельных реакциях, то его количества веществ в этих реакциях никак не связаны друг с другом и могут находиться в любых соотношениях.

### СПОСОБЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

**4.1.** Какой объем кислорода (н. у.) потребуется для сжигания 22,4 г серы?

Д а н о.	Р е ш е н и е.
$m(\text{S}) = 22,4 \text{ г}$	1. Запишем уравнение реакции:
$V(\text{O}_2) = ?$	$\text{S} + \text{O}_2 = \text{SO}_2.$

2. Найдем количество вещества сгоревшей серы:

$$\nu(\text{S}) = \frac{m(\text{S})}{M(\text{S})} = \frac{22,4 \text{ г}}{32 \text{ г/моль}} = 0,7 \text{ моль}.$$

3. Из уравнения реакции следует, что:

$$\frac{\nu(\text{S})}{\nu(\text{O}_2)} = \frac{1}{1}, \text{ следовательно, } \nu(\text{O}_2) = \nu(\text{S}) = 0,7 \text{ моль}.$$

4. Зная количество вещества кислорода, вычислим его объем:

$$V(\text{O}_2) = \nu(\text{O}_2) \cdot V_m = 0,7 \text{ моль} \cdot 22,4 \text{ моль/л} = 15,68 \text{ л}.$$

О т в е т.  $V(\text{O}_2) = 15,68 \text{ л}.$



**4.2.** Какую массу оксида фосфора (V) требуется растворить в воде для получения 117,6 г фосфорной кислоты?

Д а н о.	Р е ш е н и е.
$m(\text{H}_3\text{PO}_4) = 117,6 \text{ г}$	1. Запишем уравнение реакции:
$m(\text{P}_2\text{O}_5) = ?$	$\text{P}_2\text{O}_5 + 3\text{H}_2\text{O} = 2\text{H}_3\text{PO}_4.$

2. Рассчитаем количество вещества фосфорной кислоты:

$$\nu(\text{H}_3\text{PO}_4) = \frac{m(\text{H}_3\text{PO}_4)}{M(\text{H}_3\text{PO}_4)} = \frac{117,6 \text{ г}}{98 \text{ г/моль}} = 1,2 \text{ моль.}$$

3. Найдем количество вещества, вступившего в реакцию оксида фосфора (V). Из уравнения реакции:

$$\frac{\nu(\text{P}_2\text{O}_5)}{\nu(\text{H}_3\text{PO}_4)} = \frac{1}{2}, \text{ следовательно,}$$

$$\nu(\text{P}_2\text{O}_5) = \frac{\nu(\text{H}_3\text{PO}_4) \cdot 1}{2} = \frac{1,2 \text{ моль}}{2} = 0,6 \text{ моль.}$$

4. Найдем массу оксида фосфора (V):

$$m(\text{P}_2\text{O}_5) = \nu(\text{P}_2\text{O}_5) \cdot M(\text{P}_2\text{O}_5);$$

$$m(\text{P}_2\text{O}_5) = 0,6 \text{ моль} \cdot 142 \text{ г/моль} = 85,2 \text{ г.}$$

О т в е т.  $m(\text{P}_2\text{O}_5) = 85,2 \text{ г.}$

**4.3.** Вычислите массу осадка, образующегося при добавлении 100 мл 10% -ного раствора хлорида меди (II) ( $\rho = 1,08 \text{ г/мл}$ ) к избытку раствора гидроксида калия.

Д а н о.	Р е ш е н и е.
$V_{\text{р-ра}}(\text{CuCl}_2) = 100 \text{ мл}$	1. Запишем уравнение реакции:
$\omega(\text{CuCl}_2) = 10\%$	$\text{CuCl}_2 + 2\text{NaOH} =$
$\rho_{\text{р-ра}}(\text{CuCl}_2) =$	$= \text{Cu}(\text{OH})_2 \downarrow + 2\text{NaCl}.$
$= 1,08 \text{ г/мл}$	Отметим, что в осадок выпадает гидроксид меди (II).
$m(\text{осадка}) = ?$	

2. Вычислим массу раствора хлорида меди (II):

$$m_{\text{р-ра}}(\text{CuCl}_2) = \rho_{\text{р-ра}}(\text{CuCl}_2) \cdot V_{\text{р-ра}}(\text{CuCl}_2);$$

$$m_{\text{р-ра}}(\text{CuCl}_2) = 1,08 \text{ г/моль} \cdot 100 \text{ мл} = 108 \text{ г.}$$

3. Найдем массу  $\text{CuCl}_2$ , содержащегося в данном растворе:

$$m(\text{CuCl}_2) = \frac{m_{\text{р-ра}}(\text{CuCl}_2) \cdot \omega_{\text{р-ра}}(\text{CuCl}_2)}{100\%};$$

$$m(\text{CuCl}_2) = \frac{108 \text{ г} \cdot 10\%}{100\%} = 10,8 \text{ г.}$$

4. Найдем количество вещества  $\text{CuCl}_2$ :

$$\nu(\text{CuCl}_2) = \frac{m(\text{CuCl}_2)}{M(\text{CuCl}_2)} = \frac{10,8 \text{ г}}{135 \text{ г/моль}} = 0,08 \text{ моль.}$$

5. Найдем количество вещества  $\text{Cu}(\text{OH})_2$ :

$$\frac{\nu(\text{Cu}(\text{OH})_2)}{\nu(\text{CuCl}_2)} = \frac{1}{1}, \text{ следовательно, } \nu(\text{Cu}(\text{OH})_2) = \nu(\text{CuCl}_2) = 0,08 \text{ моль.}$$

6. Найдем массу  $\text{Cu}(\text{OH})_2$ , выпавшего в осадок:

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

$$m(\text{Cu}(\text{OH})_2) = 0,08 \text{ моль} \cdot 98 \text{ г/моль} = 7,84 \text{ г.}$$

О т в е т.  $m(\text{Cu}(\text{OH})_2) = 7,84 \text{ г.}$

**4.4.** Какой объем соляной кислоты с массовой долей  $\text{HCl}$  20% ( $\rho = 1,1 \text{ г/мл}$ ) потребуется для растворения 42,5 г оксида алюминия, содержащего 4% примесей?

Д а н о.

$$m(\text{Al}_2\text{O}_3) = 42,5 \text{ г}$$

$$\omega(\text{примесей}) = 4\%$$

$$\omega(\text{HCl}) = 20\%$$

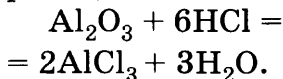
$$\rho_{\text{р-ра}}(\text{HCl}) =$$

$$= 1,1 \text{ г/мл}$$

$$V(\text{HCl}) - ?$$

Р е ш е н и е.

1. Запишем уравнение реакции:



2. Вычислим массу примесей в оксиде алюминия:

$$\begin{aligned} m(\text{примесей}) &= \frac{m(\text{Al}_2\text{O}_3) \cdot \omega(\text{примесей})}{100\%} = \\ &= \frac{42,5 \text{ г} \cdot 4\%}{100\%} = 1,7 \text{ г.} \end{aligned}$$

3. Найдем массу чистого оксида алюминия:

$$m_{\text{чист}}(\text{Al}_2\text{O}_3) = m(\text{Al}_2\text{O}_3) - m(\text{примесей}) = 42,5 \text{ г} - 1,7 \text{ г} = 40,8 \text{ г}.$$

4. Найдем количество вещества  $\text{Al}_2\text{O}_3$ :

$$\nu(\text{Al}_2\text{O}_3) = \frac{m(\text{Al}_2\text{O}_3)}{M(\text{Al}_2\text{O}_3)} = \frac{40,8 \text{ г}}{102 \text{ г/моль}} = 0,4 \text{ моль}.$$

5. Найдем количество вещества  $\text{HCl}$ :

$$\frac{\nu(\text{HCl})}{\nu(\text{Al}_2\text{O}_3)} = \frac{6}{1}, \text{ следовательно,}$$

$$\nu(\text{HCl}) = \frac{m(\text{Al}_2\text{O}_3) \cdot 6}{1} = 0,4 \text{ моль} \cdot 6 = 2,4 \text{ моль}.$$

6. Вычислим массу прореагировавшего хлороводорода:

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

$$m(\text{HCl}) = 2,4 \text{ моль} \cdot 36,5 \text{ г/моль} = 87,6 \text{ г}.$$

7. Найдем массу соляной кислоты:

$$m_{\text{р-ра}}(\text{HCl}) = \frac{m(\text{HCl})}{\omega(\text{HCl})} \cdot 100\% = \frac{87,6 \text{ г}}{20\%} \cdot 100\% = 438 \text{ г}.$$

8. Найдем объем соляной кислоты:

$$V_{\text{р-ра}}(\text{HCl}) = \frac{m_{\text{р-ра}}(\text{HCl})}{\rho_{\text{р-ра}}(\text{HCl})} = \frac{438 \text{ г}}{1,1 \text{ г/мл}} = 398,2 \text{ мл}.$$

О т в е т.  $V_{\text{р-ра}}(\text{HCl}) = 398,2 \text{ мл}.$

**4.5.** Какой объем хлора (н. у.) прореагирует с 112 г смеси железа и меди, массовая доля железа в которой 65%?

Д а н о.

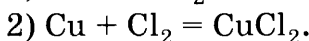
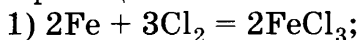
$$m(\text{смеси}) = 112 \text{ г}$$

$$\omega(\text{Fe}) = 65\%$$

$$V(\text{Cl}_2) = ?$$

Р е ш е н и е.

1. Запишем уравнения реакций:



2. Найдем массу железа в смеси:

$$m(\text{Fe}) = \frac{m(\text{смеси}) \cdot \omega(\text{Fe})}{100\%} = \frac{112 \text{ г} \cdot 65\%}{100\%} = 72,8 \text{ г}.$$

3. Найдем массу меди в смеси:

$$m(\text{Cu}) = m(\text{смеси}) - m(\text{Fe}) = 112 \text{ г} - 72,8 \text{ г} = 39,2 \text{ г}.$$

4. Найдем количества веществ железа и меди:

$$\nu(\text{Fe}) = \frac{m(\text{Fe})}{M(\text{Fe})} = \frac{72,8 \text{ г}}{56 \text{ г/моль}} = 1,3 \text{ моль};$$

$$\nu(\text{Cu}) = \frac{m(\text{Cu})}{M(\text{Cu})} = \frac{39,2 \text{ г}}{64 \text{ г/моль}} = 0,61 \text{ моль}.$$

5. Определим количество вещества хлора в реакциях 1) и 2). По уравнению 1):

$$\frac{\nu_1(\text{Cl}_2)}{\nu_2(\text{Fe})} = \frac{3}{2}, \text{ следовательно,}$$

$$\nu_1(\text{Cl}_2) = \frac{\nu(\text{Fe}) \cdot 3}{2} = \frac{1,3 \text{ моль} \cdot 3}{2} = 1,95 \text{ моль}.$$

По уравнению 2):

$$\frac{\nu_2(\text{Cl}_2)}{\nu(\text{Cu})} = \frac{1}{1}, \text{ следовательно,}$$

$$\nu_2(\text{Cl}_2) = \nu(\text{Cu}) = 0,6125 \text{ моль}.$$

6. Найдем общее количество вещества хлора:

$$\nu(\text{Cl}_2) = \nu_1(\text{Cl}_2) + \nu_2(\text{Cl}_2) = 1,95 \text{ моль} + 0,61 \text{ моль} = 2,56 \text{ моль}.$$

7. Вычислим объем прореагировавшего хлора:

$$V(\text{Cl}_2) = \nu(\text{Cl}_2) \cdot V_m = 2,56 \text{ моль} \cdot 22,4 \text{ л/моль} = 57,34 \text{ л}.$$

О т в е т.  $V(\text{Cl}_2) = 57,34 \text{ л}.$

**4.6.** 80 г смеси оксидов железа (II) и (III) восстановили водородом. Вычислите массу образовавшегося металла, если массовая доля оксида железа (III) в исходной смеси равна 70%.

Д а н о.

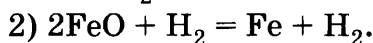
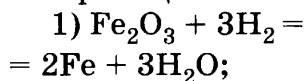
$$m(\text{смеси}) = 80 \text{ г}$$

$$\omega(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 70\%$$

$$m(\text{Fe}) = ?$$

Р е ш е н и е.

1. Запишем уравнения реакций:



2. Вычислим массы  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и  $\text{FeO}$  в смеси.

$$m(\text{Fe}_2\text{O}_3) = \frac{m(\text{смеси}) \cdot \omega(\text{Fe}_2\text{O}_3)}{100\%} = \frac{80 \text{ г} \cdot 70\%}{100\%} = 56 \text{ г};$$

$$m(\text{FeO}) = m(\text{смеси}) - m(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 80 \text{ г} - 56 \text{ г} = 24 \text{ г}.$$

3. Найдем количества вещества оксидов железа (II) и (III):

$$\nu(\text{Fe}_2\text{O}_3) = \frac{m(\text{Fe}_2\text{O}_3)}{M(\text{Fe}_2\text{O}_3)} = \frac{56 \text{ г}}{160 \text{ г/моль}} = 0,35 \text{ моль};$$

$$\nu(\text{FeO}) = \frac{m(\text{FeO})}{M(\text{FeO})} = \frac{24 \text{ г}}{72 \text{ г/моль}} = 0,33 \text{ моль}.$$

4. Определим количество вещества железа, образовавшегося в реакциях 1) и 2).

По уравнению 1):

$$\frac{\nu_1(\text{Fe})}{\nu(\text{Fe}_2\text{O}_3)} = \frac{2}{1}, \text{ следовательно,}$$

$$\nu_1(\text{Fe}) = \frac{\nu(\text{Fe}_2\text{O}_3) \cdot 2}{1} = 0,35 \text{ моль} \cdot 2 = 0,7 \text{ моль}.$$

По уравнению 2):

$$\frac{\nu_2(\text{Fe})}{\nu(\text{FeO})} = \frac{1}{1}, \text{ следовательно,}$$

$$\nu_2(\text{Fe}) = \nu(\text{FeO}) = 0,33 \text{ моль}.$$

5. Найдем общее количество вещества и массу полученного железа:

$$\nu(\text{Fe}) = \nu_1(\text{Fe}) + \nu_2(\text{Fe}) = 0,7 \text{ моль} + 0,33 \text{ моль} = 1,03 \text{ моль};$$

$$m(\text{Fe}) = \nu(\text{Fe}) \cdot M(\text{Fe}) = 1,03 \text{ моль} \cdot 56 \text{ г/моль} = 57,68 \text{ г}.$$

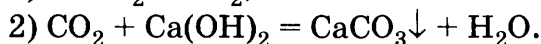
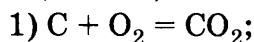
О т в е т.  $m(\text{Fe}) = 57,68 \text{ г}.$

**4.7.** Газ, образовавшийся при сгорании 18,6 г угля в избытке кислорода, пропустили через избыток раствора гидроксида кальция. Какова масса образовавшегося при этом осадка?

Д а н о.

$$m(\text{C}) = 18,6 \text{ г}$$

$$m(\text{осадка}) = ?$$



Р е ш е н и е.

1. Запишем уравнения реакций:

В данном случае вещество, количество которого известно, уголь, участвует в одной реакции, а вещество, количество вещества которого необходимо найти, образуется в результате второй реакции. В этом случае перейти от исходного вещества к продукту, количество которого необходимо найти, можно через количество вещества, которое образуется в первой реакции и затем участвует во второй. В данной задаче это вещество —  $\text{CO}_2$ .

2. Вычислим количество вещества сгоревшего углерода:

$$\nu(\text{C}) = \frac{m(\text{C})}{M(\text{C})} = \frac{18,6 \text{ г}}{12 \text{ г/моль}} = 1,55 \text{ моль}.$$

3. По уравнению реакции 1) определим количество вещества углекислого газа:

$$\frac{\nu(\text{CO}_2)}{\nu(\text{C})} = \frac{1}{1}, \text{ следовательно,}$$

$$\nu(\text{CO}_2) = \nu(\text{C}) = 1,55 \text{ моль}.$$

4. Так как весь углекислый газ, образовавшийся в первой реакции, затем вступил в реакцию с гидроксидом кальция, получим:

$$\nu_1(\text{CO}_2) = \nu_2(\text{CO}_2) = 1,55 \text{ моль}.$$

5. По уравнению реакции 2) найдем количество вещества карбоната кальция:

$$\frac{\nu(\text{CaCO}_3)}{\nu(\text{CO}_2)} = \frac{1}{1}, \text{ следовательно,}$$

$$\nu(\text{CaCO}_3) = \nu(\text{CO}_2) = 1,55 \text{ моль}.$$

6. Найдем массу карбоната кальция:

$$m(\text{CaCO}_3) = \nu(\text{CaCO}_3) \cdot M(\text{CaCO}_3) = 1,55 \text{ моль} \times \times 100 \text{ г/моль} = 155 \text{ г}.$$

$$\text{О т в е т. } m(\text{CaCO}_3) = 155 \text{ г}.$$

**4.8.** Смесь оксида и сульфида цинка массой 114,9 г обработали избытком соляной кислоты. При этом выделилось 13,44 л (н. у.) газа. Определите массовую долю оксида цинка в смеси (в %).

Д а н о.	Р е ш е н и е.
$m(\text{смеси}) = 114,9 \text{ г}$ $V(\text{газа}) = 13,44 \text{ л}$	1. Запишем уравнения реакций:
	1) $\text{ZnO} + 2\text{HCl} =$
	$= \text{ZnCl}_2 + \text{H}_2\text{O};$
	2) $\text{ZnS} + 2\text{HCl} =$
	$= \text{ZnCl}_2 + \text{H}_2\text{S}\uparrow.$
$\omega(\text{ZnO}) = ?$	

2. Из уравнений реакции следует, что выделение газа происходит только в реакции 2). Следовательно, выделившийся газ — это сероводород. Найдем количество вещества сероводорода, зная из условия задачи его объем:

$$\nu(\text{H}_2\text{S}) = \frac{V(\text{H}_2\text{S})}{V_m} = \frac{13,44 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} = 0,6 \text{ моль}.$$

3. По уравнению реакции 2) найдем количество вещества сульфида цинка:

$$\frac{\nu(\text{ZnS})}{\nu(\text{H}_2\text{S})} = \frac{1}{1}, \text{ следовательно,}$$

$$\nu(\text{ZnS}) = \nu(\text{H}_2\text{S}) = 0,6 \text{ моль}.$$

4. Найдем массу сульфида цинка:

$$m(\text{ZnS}) = \nu(\text{ZnS}) \cdot M(\text{ZnS}) = 0,6 \text{ моль} \cdot 97 \text{ г/моль} = 58,2 \text{ г}.$$

5. Зная массу смеси, найдем массу оксида цинка:

$$m(\text{ZnO}) = m(\text{смеси}) - m(\text{ZnS}) = 114,9 \text{ г} - 58,2 \text{ г} = 56,7 \text{ г}.$$

6. Вычислим массовую долю оксида цинка в смеси:

$$\omega(\text{ZnO}) = \frac{m(\text{ZnO})}{m(\text{смеси})} \cdot 100\% = \frac{56,7 \text{ г}}{114,9 \text{ г}} \cdot 100\% = 49,3\%.$$

О т в е т.  $\omega(\text{ZnO}) = 49,3\%$ .

**4.9.** На растворение смеси оксида и карбоната магния было затрачено 520,65 мл 15% -ного раствора хлороводорода ( $\rho = 1,075$  г/мл). При этом выделилось 8,96 л (н. у.) газа. Какова масса исходной смеси?

Д а н о.

$$V_{\text{р-ра}}(\text{HCl}) = 520,65 \text{ мл}$$

$$\omega(\text{HCl}) = 15\%$$

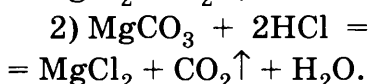
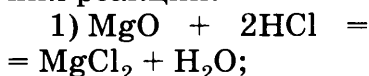
$$\rho_{\text{р-ра}}(\text{HCl}) = 1,075 \text{ г/мл}$$

$$V(\text{газа}) = 8,96 \text{ л}$$

$$m(\text{MgO} + \text{MgCO}_3) = ?$$

Р е ш е н и е.

1. Запишем уравнения реакций:



2. Найдем количество вещества углекислого газа:

$$v(\text{CO}_2) = \frac{V(\text{CO}_2)}{V_m} = \frac{8,96 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} = 0,4 \text{ моль}.$$

3. Найдем количество вещества карбоната магния и его массу:

$$\frac{v(\text{MgCO}_3)}{v(\text{CO}_2)} = \frac{1}{1}, \text{ следовательно,}$$

$$v(\text{MgCO}_3) = v(\text{CO}_2) = 0,4 \text{ моль};$$

$$m(\text{MgCO}_3) = v(\text{MgCO}_3) \cdot M(\text{MgCO}_3) = 0,4 \text{ моль} \times \times 84 \text{ г/моль} = 33,6 \text{ г}.$$

4. Найдем массу раствора хлороводорода:

$$m_{\text{р-ра}}(\text{HCl}) = V_{\text{р-ра}}(\text{HCl}) \cdot \rho_{\text{р-ра}}(\text{HCl}) = 520,65 \text{ мл} \times \times 1,075 \text{ г/мл} = 559,7 \text{ г}.$$

5. Найдем массу растворенного хлороводорода и количество вещества HCl, участвовавшего в обеих реакциях:

$$m(\text{HCl}) = \frac{m_{\text{р-ра}}(\text{HCl}) \cdot \omega(\text{HCl})}{100\%} = \frac{559,7 \text{ г} \cdot 15\%}{100\%} = 83,95 \text{ г};$$

$$v(\text{HCl}) = \frac{m(\text{HCl})}{M(\text{HCl})} = \frac{83,95 \text{ г}}{36,5 \text{ г/моль}} = 2,3 \text{ моль}.$$



6. Зная количество вещества карбоната магния, определим количество вещества хлороводорода, участвовавшего в реакции 2):

$$\frac{\nu_2(\text{HCl})}{\nu(\text{MgCO}_3)} = \frac{2}{1}, \text{ следовательно,}$$

$$\nu_2(\text{HCl}) = \frac{\nu(\text{MgCO}_3) \cdot 2}{1} = 0,4 \text{ моль} \cdot 2 = 0,8 \text{ моль.}$$

7. Зная количество вещества  $\text{HCl}$ , вступившего в обе реакции, и количество вещества  $\text{HCl}$ , вступившего в реакцию 2), вычислим количество вещества  $\text{HCl}$ , участвовавшего в реакции 1):

$$\nu_1(\text{HCl}) = \nu(\text{HCl}) - \nu_2(\text{HCl}) = 2,3 \text{ моль} - 0,8 \text{ моль} = 1,5 \text{ моль.}$$

8. Определим количество вещества оксида магния и его массу:

$$\frac{\nu(\text{MgO})}{\nu_1(\text{HCl})} = \frac{1}{2}, \text{ следовательно,}$$

$$\nu(\text{MgO}) = \frac{\nu_1(\text{HCl}) \cdot 1}{2} = \frac{1,5 \text{ моль}}{2} = 0,75 \text{ моль;}$$

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

$$m(\text{MgO}) = 0,75 \text{ моль} \cdot 40 \text{ г/моль} = 30 \text{ г.}$$

9. Найдем массу смеси:

$$m(\text{смеси}) = m(\text{MgO}) + m(\text{MgCO}_3) = 30 \text{ г} + 33,6 \text{ г} = 63,6 \text{ г.}$$

О т в е т.  $m(\text{смеси}) = 63,6 \text{ г.}$

**4.10.** При взаимодействии 200 г раствора, содержащего карбонаты натрия и аммония, с избытком раствора гидроксида натрия выделяется 6,72 л газа (н. у.), а при взаимодействии такой же массы раствора солей с избытком соляной кислоты — 8,96 л газа (н. у.). Вычислите массовые доли каждой из солей в растворе.

Д а н о.

$$m(\text{p-ра}) = 200 \text{ г}$$

$$V_1(\text{газа}) = 6,72 \text{ л}$$

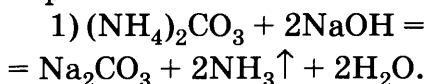
$$V_2(\text{газа}) = 8,96 \text{ л}$$

$$\omega((\text{NH}_4)_2\text{CO}_3) = ?$$

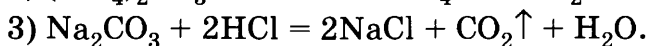
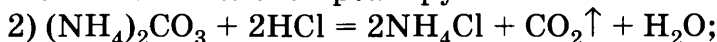
$$\omega(\text{Na}_2\text{CO}_3) = ?$$

Р е ш е н и е.

1. Запишем уравнения реакций. С гидроксидом натрия реагирует только карбонат аммония:



С соляной кислотой реагируют обе соли:



2. Найдем количество вещества аммиака, выделившегося в реакции 1):

$$v(\text{NH}_3) = \frac{V(\text{NH}_3)}{V_m} = \frac{6,72 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} = 0,3 \text{ моль}.$$

3. Найдем количество вещества карбоната аммония.

По уравнению 1):

$$\frac{v((\text{NH}_4)_2\text{CO}_3)}{v(\text{NH}_3)} = \frac{1}{2}, \text{ следовательно,}$$

$$v((\text{NH}_4)_2\text{CO}_3) = \frac{v(\text{NH}_3) \cdot 1}{2} = \frac{0,3}{2} = 0,15 \text{ моль}.$$

4. Найдем массу карбоната аммония и его массовую долю в растворе:

$$m((\text{NH}_4)_2\text{CO}_3) = v((\text{NH}_4)_2\text{CO}_3) \cdot M((\text{NH}_4)_2\text{CO}_3);$$

$$m((\text{NH}_4)_2\text{CO}_3) = 0,15 \text{ моль} \cdot 96 \text{ г/моль} = 14,4 \text{ г};$$

$$\omega((\text{NH}_4)_2\text{CO}_3) = \frac{m((\text{NH}_4)_2\text{CO}_3)}{m_{\text{p-ра}}} \cdot 100\%;$$

$$\omega((\text{NH}_4)_2\text{CO}_3) = \frac{14,4 \text{ г}}{200 \text{ г}} \cdot 100\% = 7,2\%.$$

5. Найдем количество вещества углекислого газа, выделившегося в реакциях 2) и 3):

$$v_{2,3}(\text{CO}_2) = \frac{V(\text{CO}_2)}{V_m} = \frac{8,96 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} = 0,4 \text{ моль}.$$

6. По условию задачи массы растворов, реагирующих с NaOH и HCl, одинаковы, следовательно:  
 $v_1((\text{NH}_4)_2\text{CO}_3) = v_2((\text{NH}_4)_2\text{CO}_3) = 0,15 \text{ моль.}$

7. Найдем количество вещества  $\text{CO}_2$  в реакции 2):

$$\frac{v_2(\text{CO}_2)}{v((\text{NH}_4)_2\text{CO}_3)} = \frac{1}{1}, \text{ следовательно,}$$

$$v_2(\text{CO}_2) = v_2((\text{NH}_4)_2\text{CO}_3) = 0,15 \text{ моль.}$$

8. Найдем количество вещества  $\text{CO}_2$  в реакции 3):

$$v_3(\text{CO}_2) = v_{2,3}(\text{CO}_2) - v_2(\text{CO}_2) = 0,4 \text{ моль} - 0,15 \text{ моль} = 0,25 \text{ моль.}$$

9. Определим количество вещества карбоната натрия в растворе:

$$\frac{v(\text{Na}_2\text{CO}_3)}{v_3(\text{CO}_2)} = \frac{1}{1}, \text{ следовательно,}$$

$$v(\text{Na}_2\text{CO}_3) = v_3(\text{CO}_2) = 0,25 \text{ моль.}$$

10. Определим массу и массовую долю  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ :

$$m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = v(\text{Na}_2\text{CO}_3) \cdot M(\text{Na}_2\text{CO}_3);$$

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

$$\omega(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{m(\text{Na}_2\text{CO}_3)}{m_{\text{р-ра}}} \cdot 100\% = \frac{26,5 \text{ г}}{200 \text{ г}} \cdot 100\% = 13,25\%.$$

$$\text{О т в е т. } \omega((\text{NH}_4)_2\text{CO}_3) = 7,2\%,$$

$$\omega(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 13,25\%.$$

### ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

4.11. Какая масса осадка образуется при взаимодействии раствора, содержащего 34 г нитрата серебра с избытком соляной кислоты?

$$\text{О т в е т. } m(\text{осадка}) = 28,7 \text{ г.}$$

4.12. Какую массу негашеной извести, массовая доля примесей в которой 5%, нужно взять для получения 555 кг гашеной извести?

$$\text{О т в е т. } m(\text{CaO}) = 442,1 \text{ кг.}$$

**4.13.** 25 г сплава магния с алюминием обработали избытком раствора гидроксида натрия. Вычислите объем выделившегося водорода (н. у.), если массовая доля алюминия в сплаве 43,2%.

О т в е т.  $V(\text{H}_2) = 13,44$  л.

**4.14.** Какой объем 25% -ного раствора гидроксида калия ( $\rho = 1,24$  г/мл) потребуется для растворения 9 г оксида кремния (IV)?

О т в е т.  $V_{\text{р-ра}}(\text{KOH}) = 54,2$  мл.

**4.15.** Смесь карбонатов натрия и кальция массой 77,4 г прокалили. Масса смеси после прокаливания составила 62 г. Определите массовые доли компонентов в исходной смеси.

О т в е т.  $\omega(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 54,78\%$ ,  $\omega(\text{CaCO}_3) = 45,22\%$ .

**4.16.** При добавлении избытка раствора гидроксида натрия к 390 г раствора хлорида железа (III) образовалось 12,84 г осадка. Определите массовую долю хлорида железа (III) в исходном растворе.

О т в е т.  $\omega(\text{FeCl}_3) = 5\%$ .

**4.17.** Вычислите объем 15% -ной соляной кислоты ( $\rho = 1,075$  г/мл), необходимой для нейтрализации 274 мл 3% -ного раствора ( $\rho = 1,04$  г/мл) гидроксида бария.

О т в е т.  $V_{\text{р-ра}}(\text{HCl}) = 22,63$  мл.

**4.18.** Газ, выделившийся при обработке 26,1 г оксида марганца (IV) избытком концентрированной соляной кислоты, пропустили через раствор иодида калия. Определите массу выделившегося при этом иода.

О т в е т.  $m(\text{I}_2) = 76,2$  г.

**4.19.** Газ, выделившийся при сгорании 10 г угля, был поглощен раствором гидроксида бария, при этом образовалось 147,75 г осадка. Какова массовая доля негорючих примесей в угле?

О т в е т.  $\omega(\text{примесей}) = 10\%$ .

**4.20.** Водородом, полученным при обработке алюминия избытком раствора гидроксида калия, был восстановлен оксид меди (II). На растворение полученного металла было затрачено 133,15 мл 96% -ной серной кислоты ( $\rho = 1,84$  г/мл). Определите исходную массу алюминия.

О т в е т.  $m(\text{Al}) = 21,6$  г.

**4.21.** Сплав цинка, железа и меди массой 78,8 г обработали избытком раствора гидроксида калия. Масса нерастворившегося остатка составляла 59,2 г. Остаток обработали избытком концентрированной серной кислоты. Для растворения оставшегося металла потребовалось 417,14 мл 10% -ной соляной кислоты ( $\rho = 1,05$  г/мл). Найдите массовые доли металлов в исходном сплаве.

О т в е т.  $\omega(\text{Zn}) = 24,87\%$ ,  $\omega(\text{Cu}) = 32,49\%$ ,  $\omega(\text{Fe}) = 42,64\%$ .

**4.22.** Газ, выделившийся при обработке 19,8 г сульфата аммония избытком раствора гидроксида калия, пропустили через избыток раствора хлороводорода. Найдите массу образовавшейся соли.

О т в е т.  $m(\text{соли}) = 16,05$  г.

**4.23.** Какая масса фосфора необходима для получения такого количества фосфорной кислоты, которой можно полностью нейтрализовать 180 г 15% -ного раствора гидроксида калия?

О т в е т.  $m(\text{P}) = 5$  г.

**4.24.** Кислород, полученный при разложении бертолетовой соли, был использован для сжигания серы. Для поглощения газа, образовавшегося при этом, потребовалось 245,9 мл 20% -ного раствора гидроксида натрия ( $\rho = 1,22$  г/мл), причем образовалась средняя соль. Найдите массу бертолетовой соли.

О т в е т.  $m(\text{KClO}_3) = 61,25$  г.

**4.25.** Какой объем 15%-ной соляной кислоты ( $\rho = 1,075$  г/мл) потребуется для растворения 21,3 г сплава магния с алюминием, массовая доля алюминия в котором 38%?

О т в е т.  $V(\text{HCl}) = 452,7$  мл.

**4.26.** При сгорании углерода образовалось 29,4 г смеси газов, которую пропустили через избыток известковой воды. Масса образовавшегося осадка составила 35 г. Найдите массу сгоревшего углерода.

О т в е т.  $m(\text{C}) = 10,2$  г.

**4.27.** 25 г раствора, содержащего серную и соляную кислоты, обработали избытком раствора нитрата серебра, при этом образовалось 9,82 г осадка. Такую же массу раствора кислот обработали избытком раствора нитрата бария, получив 4,66 г осадка. Определите массовые доли кислот в исходном растворе.

О т в е т.  $\omega(\text{HCl}) = 5,84\%$ ,  $\omega(\text{H}_2\text{SO}_4) = 7,84\%$ .

**4.28.** На растворение смеси алюминия и его оксида потребовалось 317,4 мл 30%-ной соляной кислоты ( $\rho = 1,15$  г/мл), при этом выделилось 8,96 л (н. у.) газа. Какова массовая доля металла в исходной смеси?

О т в е т.  $\omega(\text{Al}) = 16,14\%$ .

**4.29.** На растворение смеси цинка и кремния потребовалось 280 г 10%-ного раствора гидроксида натрия. Такое же количество смеси может прореагировать с 98 г 25%-ной серной кислоты. Определите массу смеси.

О т в е т.  $m(\text{смеси}) = 19,05$  г.

**4.30.** При прокаливании смеси карбоната натрия и гидрокарбоната натрия выделилось 3,36 л (н. у.) газа. При обработке того же количества такой же смеси солей избытком разбавленного рас-

твора серной кислоты выделилось 12,32 л (н. у.) газа. Определите массовую долю гидрокарбоната натрия в смеси.

О т в е т.  $\omega(\text{NaHCO}_3) = 48,74\%$ .

**4.31.** К 250 г раствора, содержащего серную и азотную кислоты, добавили избыток раствора хлорида бария. Образовавшийся осадок массой 34,95 г отделили, а фильтрат нейтрализовали раствором щелочи. На нейтрализацию потребовалось 81,97 мл раствора с массовой долей гидроксида натрия 20% ( $\rho = 1,22$  г/мл). Определите массовые доли кислот в исходном растворе.

О т в е т.  $\omega(\text{H}_2\text{SO}_4) = 5,88\%$ ,  $\omega(\text{HNO}_3) = 5,04\%$ .

Расчет массы, объема продукта реакции,  
если одно из реагирующих веществ  
дано в избытке

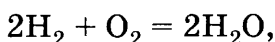
### ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОНЯТИЯ

Вещества реагируют друг с другом в строго определенных количествах. Однако исходные вещества для проведения реакции могут быть взяты в любых количествах. Таким образом, одно из реагирующих веществ может оказаться в избытке, а другое — в недостатке. В этом случае необходимо определить, какое из реагирующих веществ находится в избытке, а какое — в недостатке, и дальнейшие расчеты производить по веществу, находящемуся в недостатке. Это обусловлено тем, что вещество, находящееся в недостатке, прореагирует полностью, таким образом, количество вещества данного реагента нам будет точно известно.

Для того чтобы определить, какое из реагирующих веществ находится в избытке, а какое — в недостатке, необходимо вычислить количества вещества реагентов и сравнить их. Если количества вещества реагентов, участвующих в химической

реакции, одинаковы, то в избытке будет то вещество, количество которого больше в соответствии с условиями задачи. Например, если в реакцию, уравнение которой  $\text{H}_2 + \text{Cl}_2 = 2\text{HCl}$ , взять 0,2 моль водорода и 0,15 моль хлора, то в избытке будет водород, а в недостатке — хлор, так как  $\nu(\text{H}_2) > \nu(\text{Cl}_2)$ . Расчет количества образовавшегося водорода в этом случае следует вести по количеству вещества хлора.

Если же вещества реагируют в неравных количествах, то для расчета избытка и недостатка следует учитывать коэффициенты в уравнении реакции. Например, для реакции, уравнение которой



отношение количества веществ водорода и кислорода, реагирующих друг с другом, имеет следующий вид:

$$\frac{\nu(\text{H}_2)}{\nu(\text{O}_2)} = \frac{2}{1}, \text{ или } \nu(\text{H}_2) \cdot 1 = \nu(\text{O}_2) \cdot 2.$$

При использовании количеств веществ, соответствующих условию задачи, это выражение превращается в неравенство, которое и показывает, какое из веществ взято в реакции в избытке. Например, если в рассматриваемой реакции использовать 0,2 моль водорода и 0,15 моль кислорода, в недостатке будет водород, несмотря на то что количество вещества его больше. Это следует из соотношения:

$$1 \cdot \nu(\text{H}_2) < 2 \cdot \nu(\text{O}_2), \text{ или } 1 \cdot 0,2 < 2 \cdot 0,15,$$

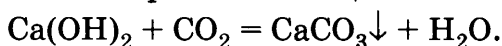
учитывающего коэффициенты в уравнении реакции.

Таким образом, расчет количества образовавшейся воды в данном случае следует вести по количеству вещества водорода.

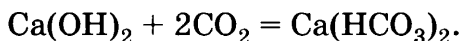
Особые трудности возникают в тех случаях, когда в зависимости от того, какой из реагентов в избытке, образуются различные продукты реакции. Например, если углекислый газ взаимодействует



вует с избытком гидроксида кальция, образуется средняя соль — карбонат кальция:

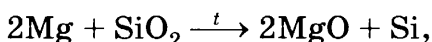


Если же в избытке углекислый газ, то в результате реакции образуется кислая соль — гидрокарбонат кальция:

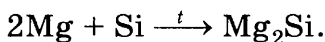


Поэтому в ряде случаев определение избытка и недостатка следует проводить еще до составления уравнения химической реакции.

В некоторых случаях вещество, взятое в избытке, взаимодействует с одним из продуктов реакции, например при восстановлении магнием оксида кремния (IV) по реакции:



взятый в избытке магний будет взаимодействовать с образовавшимся кремнием:



Такие превращения нужно также учитывать при решении задач.

## СПОСОБЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

**5.1.** Сколько граммов поваренной соли образуется при сливании растворов, содержащих 24 г гидроксида натрия и 14,6 г хлороводорода?

Д а н о.

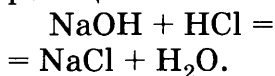
$$m(\text{NaOH}) = 24 \text{ г}$$

$$m(\text{HCl}) = 14,6 \text{ г}$$

$$m(\text{NaCl}) = ?$$

Р е ш е н и е.

1. Запишем уравнение реакции:



2. Вычислим количества веществ NaOH и HCl:

$$\nu(\text{NaOH}) = \frac{m(\text{NaOH})}{M(\text{NaOH})} = \frac{24 \text{ г}}{40 \text{ г/моль}} = 0,6 \text{ моль};$$

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

3. Определим, какой из реагентов находится в избытке:  $\nu(\text{NaOH}) > \nu(\text{HCl})$ , следовательно,  $\text{NaOH}$  — в избытке, а  $\text{HCl}$  — в недостатке.

Дальнейшие расчеты ведем по количеству вещества хлороводорода.

4. Находим количество вещества образовавшейся соли:

$$\nu(\text{NaCl}) = \nu(\text{HCl}) = 0,4 \text{ моль.}$$

5. Находим массу образовавшейся соли:

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

$$m(\text{NaCl}) = 0,4 \text{ моль} \cdot 58,5 \text{ г/моль} = 23,4 \text{ г.}$$

$$\text{О т в е т. } m(\text{NaCl}) = 23,4 \text{ г.}$$

**5.2.** Вычислите массу хлорида железа (III), образующегося при взаимодействии 14 г железа и 5,6 л (н. у.) хлора.

Д а н о.

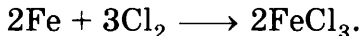
$$m(\text{Fe}) = 14 \text{ г}$$

$$V(\text{Cl}_2) = 5,6 \text{ л}$$

$$m(\text{FeCl}_3) = ?$$

Р е ш е н и е.

1. Запишем уравнение реакции:



2. Найдем количество веществ железа и хлора:

$$\nu(\text{Fe}) = \frac{m(\text{Fe})}{M(\text{Fe})} = \frac{14 \text{ г}}{56 \text{ г/моль}} = 0,25 \text{ моль};$$

$$\nu(\text{Cl}_2) = \frac{V(\text{Cl}_2)}{V_m} = \frac{5,6 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} = 0,25 \text{ моль.}$$

3. Учитывая, что в соответствии с уравнением реакции  $\frac{\nu(\text{Fe})}{\nu(\text{Cl}_2)} = \frac{2}{3}$ , или  $3 \cdot \nu(\text{Fe}) = 2 \cdot \nu(\text{Cl}_2)$ , определим, какой из реагентов взят в избытке:

$3 \cdot \nu(\text{Fe}) > 2 \cdot \nu(\text{Cl}_2)$ , или  $3 \cdot 0,25 > 2 \cdot 0,25$ , следовательно,  $\text{Fe}$  — в избытке,  $\text{Cl}_2$  — в недостатке. Дальнейшие расчеты ведем по количеству вещества хлора.

4. Вычислим массу образовавшегося хлорида железа (III):

$$\frac{\nu(\text{FeCl}_3)}{\nu(\text{Cl}_2)} = \frac{2}{3}, \text{ следовательно,}$$

$$\nu(\text{FeCl}_3) = \frac{\nu(\text{Cl}_2) \cdot 2}{3} = \frac{0,25 \cdot 2}{3} = 0,167 \text{ моль.}$$

5. Найдем массу образовавшегося хлорида железа (III):

$$m(\text{FeCl}_3) = \nu(\text{FeCl}_3) \cdot M(\text{FeCl}_3) = \\ = 0,167 \text{ моль} \cdot 162,5 \text{ г/моль} = 27,08 \text{ г.}$$

О т в е т.  $m(\text{FeCl}_3) = 27,08 \text{ г.}$

**5.3.** Водород, полученный при разложении 12,6 г гидрида кальция водой, пропустили над 40 г нагретого оксида меди (II). Определите массу образовавшегося металла.

Д а н о.

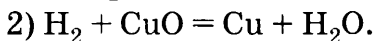
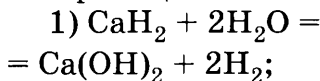
$$m(\text{CaH}_2) = 12,6 \text{ г}$$

$$m(\text{CuO}) = 40 \text{ г}$$

$$m(\text{Cu}) = ?$$

Р е ш е н и е.

1. Запишем уравнения реакций:



2. Найдем количество вещества гидрида кальция:

$$\nu(\text{CaH}_2) = \frac{m(\text{CaH}_2)}{M(\text{CaH}_2)} = \frac{12,6 \text{ г}}{42 \text{ г/моль}} = 0,3 \text{ моль.}$$

3. По уравнению реакции 1) определим количество вещества водорода:

$$\frac{\nu(\text{H}_2)}{\nu(\text{CaH}_2)} = \frac{2}{1}, \text{ следовательно,}$$

$$\nu(\text{H}_2) = \frac{\nu(\text{CaH}_2) \cdot 2}{1} = 0,3 \text{ моль} \cdot 2 = 0,6 \text{ моль.}$$

4. Вычислим количество вещества оксида меди (II):

$$\nu(\text{CuO}) = \frac{m(\text{CuO})}{M(\text{CuO})} = \frac{40 \text{ г}}{80 \text{ г/моль}} = 0,5 \text{ моль.}$$

5. Так как по уравнению реакции 2)  $v(\text{H}_2) = v(\text{CuO})$ , а по условию задачи  $v(\text{H}_2) > v(\text{CuO})$ , делаем вывод, что в недостатке — оксид меди (II). Дальнейшие расчеты ведем по количеству вещества  $\text{CuO}$ .

6. Найдем количество вещества меди и ее массу:

$$\frac{v(\text{Cu})}{v(\text{CuO})} = \frac{1}{1}, \text{ следовательно,}$$

$$v(\text{Cu}) = v(\text{CuO}) = 0,5 \text{ моль.}$$

$$m(\text{Cu}) = v(\text{Cu}) \cdot M(\text{Cu}) = 0,5 \text{ моль} \cdot 64 \text{ г/моль} = 32 \text{ г.}$$

$$\text{О т в е т. } m(\text{Cu}) = 32 \text{ г.}$$

**5.4.** Газ, полученный при взаимодействии 19,8 г сульфата аммония и 32 г 25%-ного раствора гидроксида натрия, смешали с газом, полученным при разложении 24,5 г бертолетовой соли. Газовую смесь пропустили через 73 г 5%-ного раствора соляной кислоты. Определите состав смеси газов после прохождения через раствор.

Д а н о.

$$m((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4) = 19,8 \text{ г}$$

$$m_{\text{р-ра}}(\text{NaOH}) = 32 \text{ г}$$

$$\omega(\text{NaOH}) = 25\%$$

$$m(\text{KClO}_3) = 24,5 \text{ г}$$

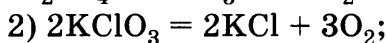
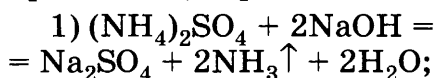
$$m_{\text{р-ра}}(\text{HCl}) = 73 \text{ г}$$

$$\omega(\text{HCl}) = 5\%$$

$$V_{\text{газов}} \text{ — ?}$$

Р е ш е н и е.

1. Запишем уравнения протекающих реакций:



2. Вычислим количества веществ сульфата аммония и гидроксида натрия:

$$v((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4) = \frac{m((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4)}{M((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4)} = \frac{19,8 \text{ г}}{132 \text{ г/моль}} = 0,15 \text{ моль};$$

$$m(\text{NaOH}) = \frac{m_{\text{р-ра}}(\text{NaOH}) \cdot \omega(\text{NaOH})}{100\%} = \frac{32 \text{ г} \cdot 25\%}{100\%} = 8 \text{ г};$$

$$v(\text{NaOH}) = \frac{m(\text{NaOH})}{M(\text{NaOH})} = \frac{8 \text{ г}}{40 \text{ г/моль}} = 0,2 \text{ моль.}$$

3. Учитывая, что

$$\frac{v((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4)}{v(\text{NaOH})} = \frac{1}{2}, \text{ или}$$

$$2 \cdot v((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4) = 1 \cdot v(\text{NaOH}),$$

определим, какой из реагентов взят в избытке:

$2 \cdot v((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4) > 1 \cdot v(\text{NaOH})$  или  $2 \cdot 0,15 > 1 \cdot 0,2$ . Следовательно, в недостатке гидроксид натрия. Дальнейшие расчеты ведем с использованием его количества вещества.

4. Определим количество вещества выделившегося аммиака:

$$\frac{v(\text{NH}_3)}{v(\text{NaOH})} = \frac{1}{1}, \text{ следовательно,}$$

$$v(\text{NH}_3) = v(\text{NaOH}) = 0,2 \text{ моль.}$$

5. Найдем количество вещества бертолетовой соли:

$$v(\text{KClO}_3) = \frac{m(\text{KClO}_3)}{M(\text{KClO}_3)} = \frac{24,5 \text{ г}}{122,5 \text{ г/моль}} = 0,2 \text{ моль.}$$

6. Определим количество вещества кислорода и его объем:

$$\frac{v(\text{O}_2)}{v(\text{KClO}_3)} = \frac{3}{2}; v(\text{O}_2) = \frac{v(\text{KClO}_3) \cdot 3}{2} = \frac{0,2 \text{ моль} \cdot 3}{2} = 0,3 \text{ моль;}$$

$$V(\text{O}_2) = v(\text{O}_2) \cdot V_m = 0,3 \text{ моль} \cdot 22,4 \text{ л/моль} = 6,72 \text{ л.}$$

7. Вычислим массу и количество вещества хлороводорода в растворе:

$$m(\text{HCl}) = \frac{m_{\text{р-ра}}(\text{HCl}) \cdot \omega(\text{HCl})}{100\%} = \frac{73 \text{ г} \cdot 5\%}{100\%} = 3,65 \text{ г;}$$

$$v(\text{HCl}) = \frac{m(\text{HCl})}{M(\text{HCl})} = \frac{3,65 \text{ г}}{36,5 \text{ г/моль}} = 0,1 \text{ моль.}$$

8. Так как по уравнению реакции 3)  $v(\text{HCl}) = v(\text{NH}_3)$ , а по условию задачи  $v(\text{HCl}) < v(\text{NH}_3)$ , определим, что в реакции 3) в избытке взят аммиак, а в недостатке — хлороводород.

9. Определим количество вещества аммиака, поглощенного соляной кислотой, и количество вещества оставшегося аммиака:

$$\frac{v(\text{NH}_3)_{\text{погл}}}{v(\text{HCl})} = \frac{1}{1}; v(\text{NH}_3)_{\text{погл}} = v(\text{HCl}) = 0,1 \text{ моль};$$

$$v(\text{NH}_3)_{\text{ост}} = v(\text{NH}_3) - v(\text{NH}_3)_{\text{погл}} = 0,2 \text{ моль} - 0,1 \text{ моль} = 0,1 \text{ моль}.$$

10. Определим объем оставшегося аммиака:

$$V(\text{NH}_3) = v(\text{NH}_3) \cdot V_m =$$

$$= 0,1 \text{ моль} \cdot 22,4 \text{ г/моль} = 2,24 \text{ л}.$$

Таким образом, после прохождения через раствор соляной кислоты газовая смесь будет содержать 6,72 л кислорода и 2,24 л аммиака.

О т в е т.  $V(\text{O}_2) = 6,72 \text{ л}$ ,  $V(\text{NH}_3) = 2,24 \text{ л}$ .

5.5. Каков состав и какова масса соли, которая образуется при пропускании 26,88 л (н. у.) углекислого газа через 210 г раствора с массовой долей гидроксида калия 24%?

Д а н о.

$$V(\text{CO}_2) = 26,88 \text{ л}$$

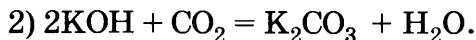
$$m_{\text{р-ра}}(\text{KOH}) = 210 \text{ г}$$

$$\omega(\text{KOH}) = 24\%$$

$$m(\text{соли}) = ?$$

Р е ш е н и е.

1. Запишем уравнения реакций, которые могут протекать в растворе:



2. Очевидно, что реакция 1) протекает в том случае, если  $v(\text{CO}_2) \geq v(\text{KOH})$ , а реакция 2) — в том случае, если  $v(\text{KOH}) \geq 2v(\text{CO}_2)$ .

Вычислим количества вещества углекислого газа и гидроксида калия:

$$v(\text{CO}_2) = \frac{V(\text{CO}_2)}{V_m} = \frac{26,88 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} = 1,2 \text{ моль};$$

$$m(\text{KOH}) = \frac{m_{\text{р-ра}}(\text{KOH}) \cdot \omega(\text{KOH})}{100\%} = \frac{210 \text{ г} \cdot 24\%}{100\%} = 50,4 \text{ г};$$

$$v(\text{KOH}) = \frac{m(\text{KOH})}{M(\text{KOH})} = \frac{50,4 \text{ г}}{56 \text{ г/моль}} = 0,9 \text{ моль}.$$

3. Сравнивая количества веществ углекислого газа и гидроксида калия, видим, что  $\nu(\text{CO}_2) > \nu(\text{KOH})$ , следовательно, протекает реакция 1) и образуется кислая соль.

4. Так как  $\nu(\text{CO}_2) > \nu(\text{KOH})$ , гидроксид калия взят в недостатке и расчет количества вещества соли будем вести по KOH:

$$\frac{\nu(\text{KHCO}_3)}{\nu(\text{KOH})} = \frac{1}{1}, \text{ следовательно,}$$

$$\nu(\text{KHCO}_3) = \nu(\text{KOH}) = 0,9 \text{ моль.}$$

5. Найдем массу образовавшейся соли:

$$m(\text{KHCO}_3) = \nu(\text{KHCO}_3) \cdot M(\text{KHCO}_3) = 0,9 \text{ моль} \times \times 100 \text{ г/моль} = 90 \text{ г.}$$

О т в е т.  $m(\text{KHCO}_3) = 90 \text{ г.}$

5.6. Смешали 200 г 14%-ного раствора гидроксида натрия и 392 г 10%-ного раствора серной кислоты. Определите массовые доли солей в образовавшемся растворе.

Д а н о.

$$m_{\text{р-ра}}(\text{NaOH}) = 200 \text{ г}$$

$$\omega(\text{NaOH}) = 14\%$$

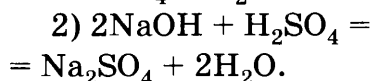
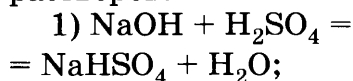
$$m_{\text{р-ра}}(\text{H}_2\text{SO}_4) = 392 \text{ г}$$

$$\omega(\text{H}_2\text{SO}_4) = 10\%$$

$$\omega(\text{солей}) = ?$$

Р е ш е н и е.

1. Запишем уравнения реакций, которые могут протекать при смешении растворов:



2. Очевидно, что реакция 1) протекает в том случае, когда  $\nu(\text{H}_2\text{SO}_4) \geq \nu(\text{NaOH})$ , а реакция 2) — в том случае, когда  $\nu(\text{NaOH}) \geq 2\nu(\text{H}_2\text{SO}_4)$ . Вычислим массы и количества вещества гидроксида натрия и серной кислоты:

$$m(\text{NaOH}) = \frac{m_{\text{р-ра}}(\text{NaOH}) \cdot \omega(\text{NaOH})}{100\%} = \frac{200 \text{ г} \cdot 14\%}{100\%} = \\ = 28 \text{ г};$$

$$\nu(\text{NaOH}) = \frac{m(\text{NaOH})}{M(\text{NaOH})} = \frac{28 \text{ г}}{40 \text{ г/моль}} = 0,7 \text{ моль};$$

$$m(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{m_{\text{р-ра}}(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot \omega(\text{H}_2\text{SO}_4)}{100\%} = \frac{392 \text{ г} \cdot 10\%}{100\%} = 39,2 \text{ г};$$

$$\nu(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{m(\text{H}_2\text{SO}_4)}{M(\text{H}_2\text{SO}_4)} = \frac{39,2 \text{ г}}{98 \text{ г/моль}} = 0,4 \text{ моль}.$$

3. Сравнивая количества вещества реагентов, отметим, что  $\nu(\text{NaOH}) > \nu(\text{H}_2\text{SO}_4)$ , однако  $\nu(\text{NaOH}) < 2\nu(\text{H}_2\text{SO}_4)$ . Таким образом, при сливании растворов часть смеси реагирует по реакции 1), а другая часть — по реакции 2).

4. Пусть количество вещества серной кислоты, вступившей в реакцию 1), будет  $x$  моль, тогда количество вещества серной кислоты, вступившей в реакцию 2), —  $(0,4 - x)$  моль. В соответствии с уравнениями реакций 1) и 2) получим:

$$\frac{\nu_1(\text{NaOH})}{\nu_2(\text{H}_2\text{SO}_4)} = \frac{1}{1}, \text{ следовательно,}$$

$$\nu_1(\text{NaOH}) = \nu_1(\text{H}_2\text{SO}_4) = x \text{ моль}.$$

$$\frac{\nu_2(\text{NaOH})}{\nu_2(\text{H}_2\text{SO}_4)} = \frac{2}{1}, \text{ следовательно,}$$

$$\nu_2(\text{NaOH}) = 2 \cdot \nu_2(\text{H}_2\text{SO}_4) = 2(0,4 - x) \text{ моль}.$$

5. По условию задачи  $\nu_1(\text{NaOH}) + \nu_2(\text{NaOH}) = 0,7$  моль. Таким образом, получим уравнение:  
 $x + 2 \cdot (0,4 - x) = 0,7$  моль.

Решив уравнение, получим:  $x = 0,1$ , следовательно,  $\nu_1(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,1$  моль.

6. Найдем количества веществ и массы солей:

$$\frac{\nu(\text{NaHSO}_4)}{\nu_1(\text{H}_2\text{SO}_4)} = \frac{1}{1};$$

$$\nu(\text{NaHSO}_4) = \nu_1(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,1 \text{ моль};$$

$$\frac{\nu(\text{Na}_2\text{SO}_4)}{\nu_2(\text{H}_2\text{SO}_4)} = \frac{1}{1}; \nu(\text{Na}_2\text{SO}_4) = \nu_2(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,3 \text{ моль};$$

$$m(\text{NaHSO}_4) = \nu(\text{NaHSO}_4) \cdot M(\text{NaHSO}_4) = 0,1 \text{ моль} \cdot 120 \text{ г/моль} = 12 \text{ г};$$

$$m(\text{Na}_2\text{SO}_4) = \nu(\text{Na}_2\text{SO}_4) \cdot M(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 0,3 \text{ моль} \cdot 142 \text{ г/моль} = 42,6 \text{ г}.$$



7. Рассчитаем массу полученного раствора:

$$m_{\text{р-ра}} = m_{\text{р-ра}}(\text{NaOH}) + m_{\text{р-ра}}(\text{H}_2\text{SO}_4) = 200 \text{ г} + 392 \text{ г} = 592 \text{ г}.$$

8. Вычислим массовые доли солей в полученном растворе:

$$\omega(\text{NaHSO}_4) = \frac{m(\text{NaHSO}_4)}{m_{\text{р-ра}}} \cdot 100\% = \frac{12 \text{ г}}{592 \text{ г}} \cdot 100\% = 2,03\%;$$

$$\omega(\text{Na}_2\text{SO}_4) = \frac{m(\text{Na}_2\text{SO}_4)}{m_{\text{р-ра}}} \cdot 100\% = \frac{42,6 \text{ г}}{592 \text{ г}} \cdot 100\% = 7,2\%.$$

О т в е т.  $\omega(\text{NaHSO}_4) = 2,03\%$ ,  $\omega(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 7,2\%$ .

5.7. Вычислите массу осадка, который образуется при прибавлении 280 г 20%-ного раствора гидроксида калия к 160,2 г 25%-ного раствора хлорида алюминия.

Д а н о.

$$m_{\text{р-ра}}(\text{KOH}) = 280 \text{ г}$$

$$\omega(\text{KOH}) = 20\%$$

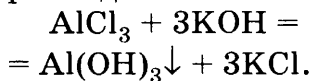
$$m_{\text{р-ра}}(\text{AlCl}_3) = 160,2 \text{ г}$$

$$\omega(\text{AlCl}_3) = 25\%$$

$$m(\text{осадка}) = ?$$

Р е ш е н и е.

1. Запишем уравнение реакции взаимодействия хлорида алюминия с гидроксидом калия:



2. Вычислим массы и количества веществ хлорида алюминия и гидроксида калия:

$$m(\text{KOH}) = \frac{m_{\text{р-ра}}(\text{KOH}) \cdot \omega(\text{KOH})}{100\%} = \frac{280 \text{ г} \cdot 20\%}{100\%} = 56 \text{ г};$$

$$\nu(\text{KOH}) = \frac{m(\text{KOH})}{M(\text{KOH})} = \frac{56 \text{ г}}{56 \text{ г/моль}} = 1 \text{ моль};$$

$$m(\text{AlCl}_3) = \frac{m_{\text{р-ра}}(\text{AlCl}_3) \cdot \omega(\text{AlCl}_3)}{100\%} = \frac{160,2 \text{ г} \cdot 25\%}{100\%} = 40,05 \text{ г};$$

$$\nu(\text{AlCl}_3) = \frac{m(\text{AlCl}_3)}{M(\text{AlCl}_3)} = \frac{40,05 \text{ г}}{133,5 \text{ г/моль}} = 0,3 \text{ моль}.$$

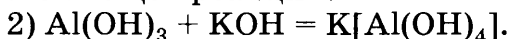
3. Учитывая, что в соответствии с уравнением реакции 1)  $\frac{v(\text{AlCl}_3)}{v(\text{KOH})} = \frac{1}{3}$ , или  $3 \cdot v(\text{AlCl}_3) = 1 \cdot v(\text{KOH})$ , определим, какой из реагентов в избытке:

$3 \cdot v(\text{AlCl}_3) < 1 \cdot v(\text{KOH})$ , или  $3 \cdot 0,3 < 1 \cdot 1$ , следовательно, гидроксид калия взят в избытке. Дальнейшие расчеты проводим по количеству вещества  $\text{AlCl}_3$ .

4. Определим количество вещества образовавшегося гидроксида алюминия:

$$\frac{v(\text{Al}(\text{OH})_3)}{v(\text{AlCl}_3)} = \frac{1}{1}, \text{ следовательно,}$$
$$v(\text{Al}(\text{OH})_3) = v(\text{AlCl}_3) = 0,3 \text{ моль.}$$

5. Известно, что гидроксид алюминия взаимодействует со щелочами с образованием растворимых тетрагидроксоалюминатов. Значит, образовавшийся гидроксид алюминия будет взаимодействовать с избытком щелочи. Запишем уравнение протекающей реакции:



6. Определим, какой из реагентов в избытке, а какой — в недостатке. Так как по уравнению реакции 2)  $v(\text{Al}(\text{OH})_3) = v(\text{KOH})$ , а количество образовавшегося  $\text{Al}(\text{OH})_3$  (0,3 моль) больше, чем количество оставшегося гидроксида калия (0,1 моль), заключаем, что в избытке — гидроксид алюминия, а в недостатке — гидроксид калия.

7. Вычислим количество растворившегося гидроксида алюминия по уравнению реакции 2):

$$\frac{v(\text{Al}(\text{OH})_3)}{v(\text{KOH})_{\text{ост}}} = \frac{1}{1}, \text{ следовательно,}$$
$$v(\text{Al}(\text{OH})_3)_{\text{прореаг}} = v(\text{KOH})_{\text{ост}} = 0,1 \text{ моль.}$$

8. Вычислим количество вещества нерастворившегося гидроксида алюминия:

$$v(\text{Al}(\text{OH})_3)_{\text{ост}} = v(\text{Al}(\text{OH})_3) - v(\text{Al}(\text{OH})_3)_{\text{прореаг}} =$$
$$= 0,3 \text{ моль} - 0,1 \text{ моль} = 0,2 \text{ моль.}$$

9. Найдем массу нерастворившегося гидроксида алюминия:

$$m(\text{Al}(\text{OH})_3) = \nu(\text{Al}(\text{OH})_3) \cdot M(\text{Al}(\text{OH})_3) = \\ = 0,2 \text{ моль} \cdot 78 \text{ г/моль} = 15,6 \text{ г}.$$

О т в е т.  $m(\text{Al}(\text{OH})_3) = 15,6 \text{ г}$ .

### ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

5.8. Сколько граммов осадка образуется при взаимодействии 340 г 17,5%-ного раствора нитрата серебра и 109,5 г 20%-ной соляной кислоты?

О т в е т.  $m(\text{AgCl}) = 50,2 \text{ г}$ .

5.9. 29,12 л аммиака (н. у.) пропустили через 160,17 мл раствора 30%-ной азотной кислоты ( $\rho = 1,18 \text{ г/мл}$ ). Определите массу образовавшейся соли.

О т в е т.  $m(\text{NH}_4\text{NO}_3) = 72 \text{ г}$ .

5.10. Сколько граммов воды образуется при сжигании смеси, содержащей 56 л водорода (н. у.) и 56 г кислорода?

О т в е т.  $m(\text{H}_2\text{O}) = 45 \text{ г}$ .

5.11. Какой объем газа (н. у.) выделится при взаимодействии 24 г смеси алюминия с кремнием, массовая доля алюминия в которой 45%, с 506,1 мл 10%-ного раствора серной кислоты ( $\rho = 1,065 \text{ г/мл}$ )?

О т в е т.  $V(\text{H}_2) = 12,32 \text{ л}$ .

5.12. К 280 г 10%-ного раствора гидроксида натрия добавили 75 г медного купороса. Выпавший осадок отделили и прокалили. Определите массу образовавшегося продукта и назовите его.

О т в е т.  $m(\text{CuO}) = 24 \text{ г}$ , оксид меди (II).

5.13. Через 68 г 4%-ного раствора сероводородной кислоты  $\text{H}_2\text{S}$  пропустили газ, образовавшийся при сжигании 0,96 г серы в избытке кислорода. Какова масса образовавшегося осадка?

О т в е т.  $m(\text{S}) = 2,88 \text{ г}$ .

**5.14.** Нагрели смесь, содержащую 32,5 г цинка и 11,2 г серы. После этого смесь обработали избытком соляной кислоты. Определите объем выделившегося газа (н. у.).

О т в е т.  $V(\text{газа}) = 11,2 \text{ л.}$

**5.15.** Газ, образовавшийся при обработке 19,2 г меди 22,79 мл 94%-ной серной кислотой ( $\rho = 1,83 \text{ г/мл}$ ), пропустили через 1200 г бромной воды с массовой долей брома 4%. Будет ли раствор бесцветным после пропускания газа?

О т в е т. Раствор останется окрашенным.

**5.16.** 10,8 г серебра обработали 72,41 мл 30%-ной азотной кислоты ( $\rho = 1,48 \text{ г/мл}$ ). К полученному раствору добавили 18,72 г 25%-ного раствора хлорида натрия. Найдите массу образовавшегося осадка.

О т в е т.  $m(\text{осадка}) = 11,48 \text{ г.}$

**5.17.** Газ, полученный при обработке 26,4 г сульфида железа (II) 73 г 20%-ной соляной кислоты, пропустили через 198,6 г 25%-ного раствора нитрата свинца (II). Определите массу образовавшегося осадка.

О т в е т.  $m(\text{осадка}) = 35,85 \text{ г.}$

**5.18.** Определите массу и состав соли, которая образуется при пропускании 15,68 л аммиака (н. у.) через 61,25 г 40%-ного раствора серной кислоты.

О т в е т.  $m((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4) = 33 \text{ г.}$

**5.19.** Какая соль образуется при сливании 177 мл 12%-ного раствора гидроксида натрия ( $\rho = 1,13 \text{ г/мл}$ ) и 194,44 мл 14%-ного раствора фосфорной кислоты ( $\rho = 1,08 \text{ г/мл}$ )? Какова ее масса?

О т в е т.  $m(\text{Na}_2\text{HPO}_4) = 42,6 \text{ г.}$

**5.20.** В 588 г раствора 10%-ной серной кислоты опустили кусочек цинка массой 52 г. Выделившийся водород пропустили при нагревании над

90 г оксида кобальта (II). Найдите массу образовавшегося металла.

О т в е т.  $m(\text{Co}) = 35,4$  г.

**5.21.** Через 224 г 20% -ного раствора гидроксида калия пропустили 13,44 л (н. у.) оксида серы (IV). Вычислите массы солей в полученном растворе.

О т в е т.  $m(\text{K}_2\text{SO}_3) = 31,6$  г,  $m(\text{KHSO}_3) = 48$  г.

**5.22.** Какова масса осадка, выделившегося при пропускании 5,6 л (н. у.) углекислого газа через известковую воду, содержащую 11,1 г гидроксида кальция?

О т в е т.  $m(\text{осадка}) = 5$  г.

**5.23.** В 200 мл воды растворили 56,8 г оксида фосфора (V). К полученному раствору прибавили 76,9 мл раствора с массовой долей  $\text{NaOH}$  40% ( $\rho = 1,43$  г/мл). Найдите массовые доли солей в полученном растворе.

О т в е т.  $\omega(\text{Na}_2\text{HPO}_4) = 11,61\%$ ,  $\omega(\text{NaH}_2\text{PO}_4) = 10,36\%$ .

**5.24.** Каковы объемные доли газов, образующихся при прокаливании 28,8 г углерода в присутствии 33,6 л кислорода (н. у.)?

О т в е т.  $\varphi(\text{CO}) = 75\%$ ,  $\varphi(\text{CO}_2) = 25\%$ .

**5.25.** После прокаливания смеси, содержащей 32,4 г алюминия и 64 г оксида железа (III), ее обработали избытком соляной кислоты. Определите объем выделившегося при этом газа (н. у.).

О т в е т.  $V(\text{газа}) = 31,36$  л.

**5.26.** Какую массу кремния можно получить, прокаливая 21 г оксида кремния (IV) с 32 г кальция?

О т в е т.  $m(\text{Si}) = 8,4$  г.

**5.27.** 32,5 г цинка растворили в 240 г 20% -ного раствора гидроксида натрия. К полученному раствору добавили 204,4 г 25% -ной соляной кислоты. Определите массу полученного осадка.

О т в е т.  $m(\text{осадка}) = 39,6$  г.

# Расчеты, связанные с использованием доли выхода продуктов реакции

## ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

При проведении расчетов по уравнениям химических реакций полагают, что исходные вещества полностью превращаются в продукты реакции и что количества веществ, образующихся в результате реакции, строго соответствуют количествам вступивших в реакцию веществ в соответствии с законом сохранения массы веществ. Однако на практике масса продуктов реакции ( $m_{\text{практ}}$ ) почти всегда бывает меньше, чем масса тех же продуктов, рассчитанная теоретически. Это может происходить из-за того, что реагирующие вещества не полностью вступают в реакцию, из-за потерь в ходе проведения реакции, из-за побочных процессов и т. д. Поэтому часто вычисляют долю выхода продукта реакции или просто *выход продукта реакции* ( $\eta$ ). Выход можно рассчитать по формуле:

$$\eta = \frac{m_{\text{практ}}}{m_{\text{теор}}} \cdot 100\%.$$

Выход продукта реакции можно рассчитать также, используя объем или количество вещества продукта, реально образовавшегося в химическом процессе и теоретически вычисленного по уравнению химической реакции:

$$\eta = \frac{V_{\text{практ}}}{V_{\text{теор}}} \cdot 100\% \text{ или } \eta = \frac{v_{\text{практ}}}{v_{\text{теор}}} \cdot 100\%.$$

Следует отметить, что выход продуктов реакции всегда меньше 100%. 100%-ный выход (его называют «количественным») может быть достигнут только в том случае, если реакция протекает идеально в соответствии с описывающим ее уравнением, а такие случаи достаточно редки. В подав-

ляющем большинстве случаев количества веществ, реально образующихся в ходе реакции, оказываются меньше, чем рассчитанные исходя из определенных количеств веществ, взятых в реакцию.

Зная массу (количество вещества, объем) исходного вещества и долю выхода продукта реакции, можно рассчитать массу (количество вещества, объем) реально образующегося в результате реакции вещества. Для этого вычисляют теоретические значения этих величин, а затем с использованием вышеприведенных формул вычисляют их практические значения:

$$m_{\text{практ}} = \frac{m_{\text{теор}} \cdot \eta}{100\%}; V_{\text{практ}} = \frac{V_{\text{теор}} \cdot \eta}{100\%}; v_{\text{практ}} = \frac{v_{\text{теор}} \cdot \eta}{100\%}.$$

Наоборот, по доле выхода продукта реакции и реальному количеству вещества образовавшегося вещества можно рассчитать массу, объем или количество вещества исходного реагента, необходимое для получения такого количества продукта реакции. В этом случае находят теоретическое значение массы, объема или количества вещества:

$$m_{\text{теор}} = \frac{m_{\text{практ}}}{\eta} \cdot 100\%; V_{\text{теор}} = \frac{V_{\text{практ}}}{\eta} \cdot 100\%;$$
$$v_{\text{теор}} = \frac{v_{\text{практ}}}{\eta} \cdot 100\%,$$

исходя из которых по уравнению реакции вычисляют количества исходных реагентов.

Иногда в условии задачи говорится о потерях в ходе реакции, доля которых также выражается в процентах. К потерям относится то количество продукта реакции, которое недополучено по сравнению с теоретически рассчитанным. Следовательно,

$$\eta(\%) = 100\% - \text{потери}(\%).$$

## СПОСОБЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

**6.1.** При сгорании 72 г углерода получено 123,2 л (н. у.) углекислого газа. Найдите долю выхода углекислого газа.

Д а н о.

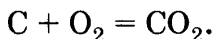
$$m(\text{C}) = 72 \text{ г}$$

$$V(\text{CO}_2) = 123,2 \text{ л}$$

$$\eta(\text{CO}_2) = ?$$

Р е ш е н и е.

1. Запишем уравнение реакции:



2. Найдем количество вещества углерода, вступившего в реакцию:

$$\nu(\text{C}) = \frac{m(\text{C})}{M(\text{C})} = \frac{72 \text{ г}}{12 \text{ г/моль}} = 6 \text{ моль}.$$

3. Найдем количество вещества углекислого газа, которое должно образоваться при сгорании 6 моль углерода, т. е.  $\nu_{\text{теор}}(\text{CO}_2)$ :

$$\frac{\nu_{\text{теор}}(\text{CO}_2)}{\nu(\text{C})} = \frac{1}{1}, \text{ следовательно,}$$

$$\nu_{\text{теор}}(\text{CO}_2) = \nu(\text{C}) = 6 \text{ моль}.$$

4. Найдем объем углекислого газа, который должен выделиться при сгорании данного количества углерода, т. е.  $V_{\text{теор}}(\text{CO}_2)$ :

$$V_{\text{теор}}(\text{CO}_2) = \nu_{\text{теор}}(\text{CO}_2) \cdot V_m = 6 \text{ моль} \cdot 22,4 \text{ л/моль} = 134,4 \text{ л}.$$

5. Так как в условии задачи сказано, что реально образовалось 123,2 л углекислого газа (т. е.  $V_{\text{практ}}(\text{CO}_2) = 123,2 \text{ л}$ ), найдем выход углекислого газа:

$$\eta(\text{CO}_2) = \frac{V_{\text{практ}}(\text{CO}_2)}{V_{\text{теор}}(\text{CO}_2)} \cdot 100\% = \frac{123,2 \text{ л}}{134,4 \text{ л}} \cdot 100\% = 91,7\%.$$

О т в е т.  $\eta(\text{CO}_2) = 91,7\%$ .



**6.2.** Восстановление водородом 64 г оксида железа (III) прошло с выходом продукта реакции 80%. Вычислите массу полученного железа.

Д а н о.

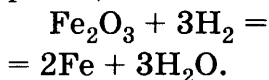
$$m(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 64 \text{ г}$$

$$\eta(\text{Fe}) = 80\%$$

$$m(\text{Fe}) = ?$$

Р е ш е н и е.

1. Запишем уравнение реакции:



2. Вычислим количество вещества исходного оксида железа (III):

$$\nu(\text{Fe}_2\text{O}_3) = \frac{m(\text{Fe}_2\text{O}_3)}{M(\text{Fe}_2\text{O}_3)} = \frac{64 \text{ г}}{160 \text{ г/моль}} = 0,4 \text{ моль}.$$

3. Вычислим количество вещества железа, которое должно образоваться при восстановлении исходного количества оксида железа (III), т. е.  $\nu_{\text{теор}}(\text{Fe})$ :

$$\frac{\nu_{\text{теор}}(\text{Fe})}{\nu(\text{Fe}_2\text{O}_3)} = \frac{2}{1}, \text{ следовательно,}$$

$$\nu_{\text{теор}}(\text{Fe}) = \frac{2 \cdot \nu(\text{Fe}_2\text{O}_3)}{1} = \frac{2 \cdot 0,04 \text{ моль}}{1} = 0,8 \text{ моль}.$$

4. Найдем массу железа, которая должна образоваться при восстановлении исходного количества вещества оксида железа (III), т. е.  $m_{\text{теор}}(\text{Fe})$ :

$$m_{\text{теор}}(\text{Fe}) = \nu_{\text{теор}}(\text{Fe}) \cdot M(\text{Fe}) = 0,8 \text{ моль} \cdot 56 \text{ г/моль} = 44,8 \text{ г}.$$

5. Найдем массу железа, реально образовавшуюся в процессе реакции, т. е.  $m_{\text{практ}}(\text{Fe})$ :

$$m_{\text{практ}}(\text{Fe}) = \frac{m_{\text{теор}}(\text{Fe}) \cdot \eta}{100\%} = \frac{44,8 \text{ г} \cdot 80\%}{100\%} = 35,84 \text{ г}.$$

$$\text{О т в е т. } m_{\text{практ}}(\text{Fe}) = 35,84 \text{ г}.$$

**6.3.** Какую массу оксида ртути (II) необходимо использовать для получения 50,4 л (н. у.) кисло-

рода, если доля выхода продукта реакции составляет 75%?

Д а н о.

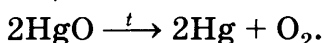
$$V(\text{O}_2) = 50,4 \text{ л}$$

$$\eta(\text{O}_2) = 75\%$$

$$m(\text{HgO}) = ?$$

Р е ш е н и е.

1. Запишем уравнение реакции:



2. В условии задачи указан объем кислорода, который нужно получить реально, т. е.  $V_{\text{практик}}(\text{O}_2)$ . Найдем количество вещества этого кислорода ( $\nu_{\text{практик}}(\text{O}_2)$ ):

$$\nu_{\text{практик}}(\text{O}_2) = \frac{V_{\text{практик}}(\text{O}_2)}{V_m} = \frac{50,4 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} = 2,25 \text{ моль}.$$

3. Так как для расчетов по уравнению реакции необходимо использовать теоретическое количество вещества продукта реакции, используя выход, вычислим  $\nu_{\text{теор}}(\text{O}_2)$ :

$$\nu_{\text{теор}}(\text{O}_2) = \frac{\nu_{\text{практик}}(\text{O}_2)}{\eta} \cdot 100\% = \frac{2,25 \text{ моль}}{75\%} \cdot 100\% = 3 \text{ моль}.$$

4. По уравнению реакции найдем количество вещества исходного оксида ртути (II):

$$\frac{\nu(\text{HgO})}{\nu_{\text{теор}}(\text{O}_2)} = \frac{2}{1}, \text{ следовательно,}$$

$$\nu(\text{HgO}) = \frac{\nu_{\text{теор}}(\text{O}_2) \cdot 2}{1} = 3 \text{ моль} \cdot 2 = 6 \text{ моль}.$$

5. Рассчитаем массу исходного оксида ртути (II):

$$m(\text{HgO}) = \nu(\text{HgO}) \cdot M(\text{HgO}) = 6 \text{ моль} \cdot 217 \text{ г/моль} = 1302 \text{ г}.$$

О т в е т.  $m(\text{HgO}) = 1302 \text{ г}.$

**6.4.** При взаимодействии 6 г магния и 9,6 г серы образовалось 11,2 г сульфида магния. Определите выход продукта реакции.

Д а н о.

$$m(\text{Mg}) = 6 \text{ г}$$

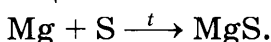
$$m(\text{S}) = 9,6 \text{ г}$$

$$m(\text{MgS}) = 11,2 \text{ г}$$

$$\eta(\text{MgS}) = ?$$

Р е ш е н и е.

1. Запишем уравнение реакции:



2. Определим, какой из реагентов взят в избытке, а какой — в недостатке. Для этого найдем количество веществ магния и серы:

$$\nu(\text{Mg}) = \frac{m(\text{Mg})}{M(\text{Mg})} = \frac{6 \text{ г}}{24 \text{ г/моль}} = 0,25 \text{ моль};$$

$$\nu(\text{S}) = \frac{m(\text{S})}{M(\text{S})} = \frac{9,6 \text{ г}}{32 \text{ г/моль}} = 0,3 \text{ моль}.$$

Так как по уравнению реакции  $\nu(\text{Mg}) = \nu(\text{S})$ , а по условию задачи  $\nu(\text{Mg}) < \nu(\text{S})$ , делаем вывод, что в избытке взята сера, а в недостатке — магний. Дальнейшие вычисления будем вести по количеству вещества магния.

3. Найдем количество вещества сульфида магния, которое должно получиться из данного количества металла, т. е.  $\nu_{\text{теор}}(\text{MgS})$ :

$$\frac{\nu_{\text{теор}}(\text{MgS})}{\nu(\text{Mg})} = \frac{1}{1}, \text{ следовательно,}$$

$$\nu_{\text{теор}}(\text{MgS}) = \nu(\text{Mg}) = 0,25 \text{ моль}.$$

4. Найдем массу сульфида магния, которая должна получиться из данного количества магния ( $m_{\text{теор}}(\text{MgS})$ ):

$$m_{\text{теор}}(\text{MgS}) = \nu_{\text{теор}}(\text{MgS}) \cdot M(\text{MgS}) = 0,25 \text{ моль} \cdot 56 \text{ г/моль} = 14 \text{ г}.$$

5. Найдем долю выхода продукта реакции, зная, что по условию задачи реально образовалось 11,2 г сульфида магния ( $m_{\text{практ}}(\text{MgS}) = 11,2 \text{ г}$ ).

$$\eta = \frac{m_{\text{практ}}(\text{MgS})}{m_{\text{теор}}(\text{MgS})} \cdot 100\% = \frac{11,2 \text{ г}}{14 \text{ г}} \cdot 100\% = 80\%.$$

$$\text{О т в е т. } \eta(\text{MgS}) = 80\%.$$

**6.5.** Какую массу оксида серы (VI) можно получить из 108 г пирита, если выход на первой стадии процесса — 60%, а на второй стадии — 80%?

Д а н о.

$$m(\text{FeS}) = 108 \text{ г}$$

$$\eta_1 = 60\%$$

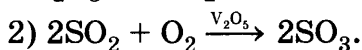
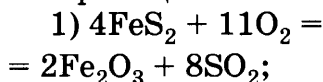
$$\eta_2 = 80\%$$

---


$$m(\text{SO}_3) = ?$$

Р е ш е н и е.

1. Запишем уравнения реакций:



2. Вычислим количество вещества пирита:

$$\nu(\text{FeS}_2) = \frac{m(\text{FeS}_2)}{M(\text{FeS}_2)} = \frac{108 \text{ г}}{120 \text{ г/моль}} = 0,9 \text{ моль.}$$

3. Вычислим количество вещества оксида серы (IV), которое должно получиться из данного количества пирита ( $\nu_{\text{теор}}(\text{SO}_2)$ ):

$$\frac{\nu_{\text{теор}}(\text{SO}_2)}{\nu(\text{FeS}_2)} = \frac{8}{4} = \frac{2}{1}, \text{ следовательно,}$$

$$\nu_{\text{теор}}(\text{SO}_2) = \frac{\nu(\text{FeS}_2) \cdot 2}{1} = 0,9 \cdot 2 = 1,8 \text{ моль.}$$

4. Найдем количество вещества оксида серы (IV), которое реально образуется в данной реакции ( $\nu_{\text{практ}}(\text{SO}_2)$ ), а следовательно, будет участвовать в реакции 2) в качестве исходного вещества:

$$\begin{aligned} \nu_{\text{практ}}(\text{SO}_2) &= \frac{\nu_{\text{теор}}(\text{SO}_2) \cdot \eta_1}{100\%} = \frac{1,8 \text{ моль} \cdot 60\%}{100\%} = \\ &= 1,08 \text{ моль.} \end{aligned}$$

5. В реакцию 2) вступит то количество  $\text{SO}_2$ , которое реально образовалось в реакции 1), т. е. 1,08 моль. Исходя из этого количества, найдем количество вещества оксида серы (VI), который должен образоваться в реакции 2):

$$\frac{\nu_{\text{теор}}\text{SO}_3}{\nu(\text{SO}_2)} = \frac{2}{2} = \frac{1}{1}, \text{ следовательно,}$$

$$\nu_{\text{теор}}(\text{SO}_3) = \nu(\text{SO}_2) = 1,08 \text{ моль.}$$

6. Используя значение доли выхода продукта реакции 2), найдем реально образующееся количество вещества оксида серы (VI):

$$\nu_{\text{практ}}(\text{SO}_3) = \frac{\nu_{\text{теор}}(\text{SO}_3) \cdot \eta_1}{100\%} = \frac{1,08 \text{ моль} \cdot 80\%}{100\%} = 0,864 \text{ моль}.$$

7. Найдем массу реально образующегося  $\text{SO}_3$ :

$$m_{\text{практ}}(\text{SO}_3) = \nu_{\text{практ}}(\text{SO}_3) \cdot M(\text{SO}_3) = 0,864 \text{ моль} \cdot 80 \text{ г/моль} = 69,12 \text{ г}.$$

О т в е т.  $m_{\text{практ}}(\text{SO}_3) = 69,12 \text{ г}.$

**6.6.** 40 г оксида меди (II) восстановили водородом. Образовавшийся при этом металл растворили в избытке концентрированной серной кислоты. При этом выделилось 6,72 л (н. у.) газа. Определите выход продукта реакции в первой реакции, если выход во второй реакции — 75%.

Д а н о.

$$m(\text{CuO}) = 40 \text{ г}$$

$$V(\text{SO}_2) = 6,72 \text{ л}$$

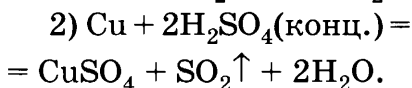
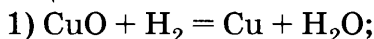
$$\eta_2 = 75\%$$

---


$$\eta_1 = ?$$

Р е ш е н и е.

1. Запишем уравнения реакций:



2. Найдем количество вещества оксида меди (II):

$$\nu(\text{CuO}) = \frac{m(\text{CuO})}{M(\text{CuO})} = \frac{40 \text{ г}}{80 \text{ г/моль}} = 0,5 \text{ моль}.$$

3. Найдем количество вещества меди, которое должно образоваться в данной реакции ( $\nu_{\text{теор}}(\text{Cu})$ ):

$$\frac{\nu_{\text{теор}}(\text{Cu})}{\nu(\text{CuO})} = \frac{1}{1}, \text{ следовательно,}$$

$$\nu_{\text{теор}}(\text{Cu}) = \nu(\text{CuO}) = 0,5 \text{ моль}.$$

Чтобы рассчитать выход в реакции 1), необходимо знать реально получившееся в данной реакции количество вещества меди. Очевидно, что в реакцию 2) вступает такое количество вещества меди, которое реально образовалось в реакции 1).

Используя данные из условия задачи, рассчитаем это количество вещества.

Зная объем  $\text{SO}_2$  и выход в реакции 2), вычислим объем  $\text{SO}_2$ , который должен получиться в этой реакции ( $V_{\text{теор}}(\text{SO}_2)$ ), и его количество вещества ( $v_{\text{теор}}(\text{SO}_2)$ ):

$$V_{\text{теор}}(\text{SO}_2) = \frac{V_{\text{практ}}(\text{SO}_2)}{\eta} \cdot 100\% = \frac{6,72 \text{ л}}{75\%} \cdot 100\% = 8,96 \text{ л};$$

$$v_{\text{теор}}(\text{SO}_2) = \frac{V_{\text{теор}}(\text{SO}_2)}{V_m} = \frac{8,96 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} = 0,4 \text{ моль}.$$

4. Найдем количество вещества меди, которое вступило в реакцию 2), а значит, реально образовалось в реакции 1):

$$\frac{v(\text{Cu})}{v_{\text{теор}}(\text{SO}_2)} = \frac{1}{1}, \text{ следовательно,}$$

$$v(\text{Cu}) = v_{\text{теор}}(\text{SO}_2) = 0,4 \text{ моль};$$

$$v_2(\text{Cu}) = v_{1 \text{ практ}}(\text{Cu}) = 0,4 \text{ моль}.$$

5. Найдем долю выхода меди в первой реакции:

$$\eta_1 = \frac{v_{\text{практ}}(\text{Cu})}{v_{\text{теор}}(\text{Cu})} \cdot 100\% = \frac{0,4 \text{ моль}}{0,5 \text{ моль}} \cdot 100\% = 80\%.$$

О т в е т.  $\eta_1 = 80\%$ .

**6.7.** При пропускании 26,88 л (н. у.) хлора через избыток горячего раствора гидроксида калия был получен хлорат калия (с выходом продукта реакции 80%), при разложении которого с выходом 75% был получен кислород. Какую массу нитрата натрия нужно использовать для получения такого же количества кислорода, если выход в реакции разложения нитрата натрия составляет 90%?

Д а н о.

$$V(\text{Cl}_2) = 26,88 \text{ л}$$

$$\eta_1 = 80\%$$

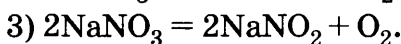
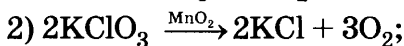
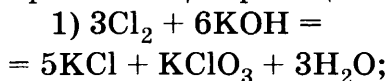
$$\eta_2 = 75\%$$

$$\eta_3 = 90\%$$

$$m(\text{NaNO}_3) = ?$$

Р е ш е н и е.

1. Запишем уравнения протекающих реакций:



2. Рассчитаем количество вещества хлора:

$$\nu(\text{Cl}_2) = \frac{V(\text{Cl}_2)}{V_m} = \frac{26,88 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} = 1,2 \text{ моль.}$$

3. По уравнению реакции 1) вычислим количество вещества хлората калия, которое можно получить теоретически:

$$\frac{\nu_{\text{теор}}(\text{KClO}_3)}{\nu(\text{Cl}_2)} = \frac{1}{3}, \text{ следовательно,}$$

$$\nu_{\text{теор}}(\text{KClO}_3) = \frac{\nu(\text{Cl}_2) \cdot 1}{3} = \frac{1,2 \text{ моль}}{3} = 0,4 \text{ моль.}$$

4. Учитывая выход в реакции 1), найдем количество вещества реально образовавшегося хлората калия:

$$\nu_{\text{практ}}(\text{KClO}_3) = \frac{\nu_{\text{теор}}(\text{KClO}_3) \cdot \eta_1}{100\%} = \frac{0,4 \text{ моль} \cdot 80\%}{100\%} = 0,32 \text{ моль.}$$

5. Так как разложению подвергается такое количество вещества хлората калия, которое реально получается в реакции 1), рассчитаем количество вещества кислорода, которое может при этом образоваться, т. е.  $\nu_{\text{теор}}(\text{O}_2)$ :

$$\frac{\nu_{\text{теор}}(\text{O}_2)}{\nu_{\text{практ}}(\text{KClO}_3)} = \frac{3}{2}, \text{ следовательно,}$$

$$\nu_{\text{теор}}(\text{O}_2) = \frac{\nu_{\text{практ}}(\text{KClO}_3) \cdot 3}{2} = \frac{0,32 \text{ моль} \cdot 3}{2} = 0,48 \text{ моль.}$$

6. Зная выход продукта в реакции 2), найдем количество вещества кислорода, реально образовавшегося в данной реакции:

$$\nu_{\text{практ}}(\text{O}_2) = \frac{\nu_{\text{теор}}(\text{O}_2) \cdot \eta_2}{100\%} = \frac{0,48 \text{ моль} \cdot 75\%}{100\%} = 0,36 \text{ моль.}$$

7. По условию задачи такое же количество вещества кислорода должно быть реально получено

по реакции 3). Для расчетов по уравнению реакции 3) вычислим количество вещества кислорода, которое должно образоваться в данной реакции, т. е.  $v_{\text{теор}}(\text{O}_2)$ :

$$v_{\text{теор}}(\text{O}_2) = \frac{v_{\text{практ}}(\text{O}_2) \cdot 100\%}{90\%} = \frac{0,36 \text{ моль} \cdot 100\%}{90\%} = 0,4 \text{ моль}.$$

8. По уравнению реакции 3) найдем количество вещества и массу нитрата натрия, необходимые для получения искомого количества кислорода:

$$\frac{v(\text{NaNO}_3)}{v_{\text{теор}}(\text{O}_2)} = \frac{2}{1}, \text{ следовательно,}$$

$$v(\text{NaNO}_3) = \frac{v_{\text{теор}}(\text{O}_2) \cdot 2}{1} = 0,8 \text{ моль};$$

$$m(\text{NaNO}_3) = v(\text{NaNO}_3) \cdot M(\text{NaNO}_3) = 0,8 \text{ моль} \times 85 \text{ г/моль} = 68 \text{ г}.$$

О т в е т.  $m(\text{NaNO}_3) = 68 \text{ г}.$

**6.8.** Вычислите объем оксида серы (IV) (н. у.), который получается при обжиге 3 т пирита, если известно, что производственные потери составляют 12%.

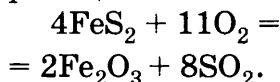
Д а н о.

$$\begin{aligned} m(\text{FeS}_2) &= 3 \text{ т} = \\ &= 3000 \text{ кг} \\ \text{потери} &\text{— } 12\% \end{aligned}$$

$$V(\text{SO}_2) \text{ — ?}$$

Р е ш е н и е.

1. Запишем уравнение реакции:



2. Вычислим количество вещества пирита, которое для упрощения расчетов будем измерять в киломолях (1 кмоль = 1000 моль):

$$v(\text{FeS}_2) = \frac{m(\text{FeS}_2)}{M(\text{FeS}_2)} = \frac{3000 \text{ кг}}{120 \text{ кг/кмоль}} = 25 \text{ кмоль}.$$



3. По уравнению реакции рассчитаем количество вещества оксида серы (IV), которое должно образоваться в данной реакции ( $v_{\text{теор}}(\text{SO}_2)$ ):

$$\frac{v_{\text{теор}}(\text{SO}_2)}{v(\text{FeS}_2)} = \frac{8}{4} = \frac{2}{1}, \text{ следовательно,}$$

$$v_{\text{теор}}(\text{SO}_2) = \frac{v(\text{FeS}_2) \cdot 2}{1} = 25 \text{ кмоль} \cdot 2 = 50 \text{ кмоль.}$$

4. Найдем выход продукта реакции:

$$\eta = 100\% - \text{потери} = 100\% - 12\% = 88\%.$$

5. Вычислим количество вещества оксида серы (IV), реально образовавшегося в данной реакции:

$$v_{\text{практ}}(\text{SO}_2) = \frac{v_{\text{теор}}(\text{SO}_2) \cdot \eta}{100\%} = \frac{50 \text{ кмоль} \cdot 88\%}{100\%} = 44 \text{ кмоль.}$$

6. Найдем объем полученного оксида серы (IV):

$$V(\text{SO}_2) = v_{\text{практ}}(\text{SO}_2) \cdot V_m = 44 \text{ кмоль} \cdot 22,4 \text{ м}^3/\text{кмоль} = 985,6 \text{ м}^3.$$

$$\text{О т в е т. } V(\text{SO}_2) = 985,6 \text{ м}^3.$$

### ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

**6.9.** При обработке 35,1 г хлорида натрия избытком концентрированной серной кислоты выделилось 10,08 л (н. у.) хлороводорода. Найдите выход хлороводорода в данной реакции.

$$\text{О т в е т. } \eta(\text{HCl}) = 75\%.$$

**6.10.** Определите выход продукта реакции, если при окислении 102,4 г меди избытком концентрированной серной кислоты было получено 230,4 г сульфата меди (II).

$$\text{О т в е т. } \eta(\text{CuSO}_4) = 90\%.$$

**6.11.** 43,2 г алюминия растворили в избытке концентрированного раствора гидроксида натрия и получили 45,7 л водорода (н. у.). Вычислите выход продукта реакции.

$$\text{О т в е т. } \eta(\text{H}_2) = 85\%.$$

**6.12.** 64,8 г оксида цинка восстановили избытком углерода. Определите массу образовавшегося металла, если выход продукта реакции равен 65%.

О т в е т.  $m(\text{Zn}) = 33,8$  г.

**6.13.** Какой объем хлора (н. у.) выделяется при взаимодействии 63,2 г перманганата калия с избытком концентрированной соляной кислоты, если выход продукта реакции составляет 87,5%?

О т в е т.  $V(\text{Cl}_2) = 19,6$  л.

**6.14.** Какую массу металла можно получить при восстановлении 6,591 т магнитного железняка ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), содержащего 12% примесей, если выход продукта реакции составляет 84%?

О т в е т.  $m(\text{Fe}) = 3,528$  т.

**6.15.** Вычислите массу фосфата кальция, необходимую для получения 186 кг фосфора, если доля выхода продукта реакции составляет 80%.

О т в е т.  $m(\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2) = 1162,5$  кг.

**6.16.** Какую массу медного купороса, формула которого  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , нужно использовать для получения 16,9 г сульфида меди (II), если доля выхода продукта реакции 88%?

О т в е т.  $m(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = 50$  г.

**6.17.** Взаимодействием 62%-ного раствора фосфорной кислоты ( $\rho = 1,44$  г/мл) с избытком раствора гидроксида натрия было получено 57,4 г фосфата натрия. Какой объем раствора был затрачен, если доля выхода продукта реакции составила 70%?

О т в е т.  $V_{\text{р-ра}}(\text{H}_3\text{PO}_4) = 54,88$  мл.

**6.18.** В реактор для синтеза аммиака поместили 8 м<sup>3</sup> водорода и 3 м<sup>3</sup> азота (н. у.). На выходе из реактора было получено 2,7 м<sup>3</sup> аммиака (н. у.). Определите выход продукта реакции.

О т в е т.  $\eta(\text{NH}_3) = 45\%$ .

**6.19.** При сливании 638,35 мл 14% -ного раствора сульфата натрия ( $\rho = 1,112$  г/мл) и 633,9 мл 25% -ного раствора хлорида бария ( $\rho = 1,05$  г/мл) образовалось 146,8 г осадка. Определите выход продукта реакции.

О т в е т.  $\eta(\text{BaSO}_4) = 90\%$ .

**6.20.** Над раскаленным оксидом свинца (II) массой 89,2 г пропустили 5,6 л (н. у.) водорода. Масса смеси после реакции составила 86 г. Определите выход продукта реакции.

О т в е т.  $\eta(\text{Pb}) = 80\%$ .

**6.21.** 48 г серы сожгли в избытке кислорода, а полученный газ пропустили через избыток бромной воды. Вычислите массу полученной серной кислоты, если выход продукта на первой стадии равен 80%, а на второй — 65%.

О т в е т.  $m(\text{H}_2\text{SO}_4) = 76,44$  г.

**6.22.** При разложении нитрата меди (II) был получен оксид азота (IV) (выход — 80%), из которого с выходом 75% получили азотную кислоту. Вычислите массу исходного нитрата меди (II), если масса образовавшейся кислоты составляет 7,56 г.

О т в е т.  $m(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2) = 18,8$  г.

**6.23.** Разложением 50 г карбоната кальция с выходом 72% был получен оксид кальция, который прокалили с 10,8 г углерода. Вычислите массу образовавшегося карбида кальция, если его выход составляет 65%.

О т в е т.  $m(\text{CaC}_2) = 12,48$  г.

**6.24.** Какую массу металла можно получить при восстановлении водородом 171 г оксида хрома (III), содержащего 20% примесей? Потери в процессе восстановления составляют 10%.

О т в е т.  $m(\text{Cr}) = 84,24$  г.

**6.25.** Какая масса руды, содержащей  $\text{Cu}_2\text{S}$ , потребуется для получения 57,6 г меди, если массовая доля  $\text{Cu}_2\text{S}$  в руде 94%, а потери при получении меди составляют 15,2%?

О т в е т.  $m(\text{руды}) = 90,3 \text{ г}$ .

**6.26.** Пропусканием избытка оксида серы (IV) через сероводородную воду, содержащую 16,32 г  $\text{H}_2\text{S}$ , получили серу, при сплавлении которой с избытком алюминия получили 22,05 г сульфида алюминия. Рассчитайте выход в первой реакции, если выход во второй реакции — 70%.

О т в е т.  $\eta_1(\text{S}) = 87,5\%$ .

**6.27.** Хлор, полученный действием избытка концентрированной соляной кислоты на 17,4 г оксида марганца (IV), использовали для получения хлорида железа (III). В результате реакции получено 14,625 г хлорида железа (III) с выходом 75%. Вычислите выход хлора в первой реакции.

О т в е т.  $\eta_1(\text{Cl}_2) = 90\%$ .

**6.28.** Восстановлением 24 г оксида кремния (IV) избытком углерода (выход — 62,5%) был получен кремний, который растворили в избытке раствора гидроксида калия и получили водород с выходом 96%. Какую массу алюминия нужно растворить в соляной кислоте для получения такого же количества водорода, если выход в данной реакции составляет 80%?

О т в е т.  $m(\text{Al}) = 10,8 \text{ г}$ .

**6.29.** Обжигом 48,5 г сульфида цинка получили оксид цинка (выход — 74%). Какую массу кристаллогидрата, формула которого  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , нужно использовать для получения такого же количества оксида цинка в двухстадийном синтезе, если выход на первой стадии равен 84%, а на второй — 88%?

О т в е т.  $m(\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}) = 143,5 \text{ г}$ .

# Расчеты, связанные со скоростью химической реакции и химическим равновесием

## ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

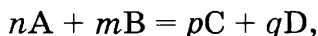
Скорость химической реакции — это отношение изменения концентрации одного из реагирующих веществ или продуктов реакции ( $\Delta C$ ) к интервалу времени ( $\Delta \tau$ ), в течение которого это изменение произошло:

$$v = -\frac{\Delta C}{\Delta \tau}.$$

Единица измерения скорости химической реакции — моль/(л · с).

Скорость химической реакции зависит от различных факторов.

Зависимость скорости реакции от концентрации реагирующих веществ определяется *законом действующих масс*, который формулируется следующим образом: скорость химической реакции прямо пропорциональна произведению концентраций реагирующих веществ, взятых в степенях, равных их коэффициентам в уравнении реакции. Например, для реакции, схема которой



этот закон выражается уравнением  $v = kC_A^n C_B^m$ .

Нужно помнить, что этот закон не распространяется на вещества, реагирующие в твердом состоянии. Твердые вещества реагируют лишь на поверхности, и, следовательно, скорость реакции в данном случае зависит от площади поверхности твердого вещества.

Зависимость скорости химической реакции от температуры определяется *правилом Вант-Гоффа*: при повышении температуры на каждые 10 °С скорость химической реакции возрастает в 2—4 раза.

Математическое правило Вант-Гоффа описывается формулой:

$$v_{t_2} = v_{t_1} \gamma^{\frac{t_2 - t_1}{10}}, \text{ или } \frac{v_{t_2}}{v_{t_1}} = \gamma^{\frac{t_2 - t_1}{10}}.$$

Часто в условиях задачи упоминают не скорость реакции, а время ее протекания. В этих случаях нужно помнить, что скорость реакции обратно пропорциональна времени ее протекания:

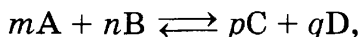
$$\frac{v_{t_2}}{v_{t_1}} = \frac{\tau_{t_1}}{\tau_{t_2}},$$

а следовательно, уравнение, отвечающее правилу Вант-Гоффа, будет выглядеть так:

$$\frac{\tau_{t_1}}{\tau_{t_2}} = \gamma^{\frac{t_2 - t_1}{10}}.$$

**Химическое равновесие** — такое состояние реагирующей системы, при котором скорости прямой и обратной реакций равны. Оно характеризуется константой химического равновесия.

Для обратимой химической реакции, схема которой



константа равновесия

$$K_p = \frac{[C]^p [D]^q}{[A]^m [B]^n}.$$

Если на систему, находящуюся в равновесии, оказывается внешнее воздействие, система выводится из состояния равновесия, при этом скорость одной из реакций (прямой или обратной) становится преобладающей. Этот процесс называют смещением равновесия.

Направление смещения равновесия определяется *принципом Ле Шателье*: если на систему, находящуюся в равновесии, оказывается какое-либо внешнее воздействие, то это благоприятствует протеканию той из двух противоположных реакций, которая ослабляет это воздействие.

## СПОСОБЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

**7.1.** В сосуде емкостью 2 л смешали по 2 моль газов А и В. Через 25 с в сосуде осталось 0,5 моль непрореагировавшего газа А. Вычислите среднюю скорость реакции.

Д а н о.

$$V = 2 \text{ л}$$

$$\nu_1(\text{А}) = 2 \text{ моль}$$

$$\nu_2(\text{А}) = 0,5 \text{ моль}$$

$$\tau = 25 \text{ с}$$

---

$$v = ?$$

Р е ш е н и е.

1. Вычислим исходную и конечную молярную концентрацию вещества А, которая показывает, какое количество вещества содержится в 1 л смеси:

$$C(\text{А})_{\text{исх}} = \frac{\nu(\text{А})_{\text{исх}}}{V} = \frac{2 \text{ моль}}{2 \text{ л}} = 1 \text{ моль/л};$$

$$C(\text{А})_{\text{конечн}} = \frac{\nu(\text{А})_{\text{конечн}}}{V} = \frac{0,5 \text{ моль}}{2 \text{ л}} = 0,25 \text{ моль/л}.$$

2. Вычислим изменение концентрации реагирующего вещества А:

$$\Delta C(\text{А}) = C_{\text{конечн}}(\text{А}) - C_{\text{исх}}(\text{А}) = 0,25 \text{ моль/л} - 1 \text{ моль/л} = -0,75 \text{ моль/л}.$$

3. Вычислим скорость реакции:

$$v = -\frac{\Delta C(\text{А})}{\Delta \tau} = -\frac{0,75 \text{ моль/л}}{25 \text{ с}} = 0,03 \text{ моль/(л} \cdot \text{с)}.$$

$$\text{О т в е т. } v = 0,03 \text{ моль/(л} \cdot \text{с)}.$$

**7.2.** В результате реакции между оксидом азота (II) и кислородом в течение 16 с в сосуде объемом 3 л образовалось 27,6 г оксида азота (IV). Вычислите среднюю скорость реакции.

Д а н о.

$$\tau = 16 \text{ с}$$

$$V = 3 \text{ л}$$

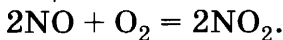
$$m(\text{NO}_2) = 27,6 \text{ г}$$

---

$$v = ?$$

Р е ш е н и е.

1. Запишем уравнение реакции:



2. Найдем количество вещества образовавшегося  $\text{NO}_2$ :

$$\nu(\text{NO}_2) = \frac{m(\text{NO}_2)}{M(\text{NO}_2)} = \frac{27,6 \text{ г}}{46 \text{ г/моль}} = 0,6 \text{ моль.}$$

3. Вычислим концентрацию  $\text{NO}_2$ :

$$C(\text{NO}_2) = \frac{\nu(\text{NO}_2)}{V} = \frac{0,6 \text{ моль}}{3 \text{ л}} = 0,2 \text{ моль/л.}$$

4. Так как в начальный момент реакции  $\text{NO}_2$  еще не образовался, его исходное количество вещества равно нулю, а концентрация — 0 моль/л, следовательно:

$$\Delta C(\text{NO}_2) = C(\text{NO}_2) = 0,2 \text{ моль/л.}$$

5. Вычислим скорость реакции:

$$\nu = \frac{\Delta C(\text{NO}_2)}{\tau} = \frac{0,2 \text{ моль/л}}{16 \text{ с}} = 0,0125 \text{ моль/(л} \cdot \text{с).}$$

О т в е т.  $\nu = 0,0125 \text{ моль/(л} \cdot \text{с).}$

**7.3.** В течение одинакового промежутка времени в одной реакции образовалось 21,9 г хлороводорода, а в другой — 53,9 г серной кислоты. Определите, какая из реакций протекала с большей скоростью, учитывая, что они проводились в сосудах одинакового объема.

Д а н о.

$$m(\text{HCl}) = 21,9 \text{ г}$$

$$m(\text{H}_2\text{SO}_4) = 53,9 \text{ г}$$

$$\frac{\nu_1}{\nu_2} = ?$$

Р е ш е н и е.

1. Вычислим количества веществ хлороводорода и серной кислоты:

$$\nu(\text{HCl}) = \frac{m(\text{HCl})}{M(\text{HCl})} = \frac{21,9 \text{ г}}{36,5 \text{ г/моль}} = 0,6 \text{ моль};$$

$$\nu(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{m(\text{H}_2\text{SO}_4)}{M(\text{H}_2\text{SO}_4)} = \frac{53,9 \text{ г}}{98 \text{ г/моль}} = 0,55 \text{ моль.}$$



2. Исходные количества веществ  $\text{HCl}$  и  $\text{H}_2\text{SO}_4$  равны нулю,  $\Delta v(\text{HCl}) = v(\text{HCl})$  и  $\Delta v(\text{H}_2\text{SO}_4) = v(\text{H}_2\text{SO}_4)$ . Запишем выражения для скоростей реакций и отношение скоростей реакций:

$$v_1 = \frac{v(\text{HCl})}{V \cdot \tau}, v_2 = \frac{v(\text{H}_2\text{SO}_4)}{V \cdot \tau}, \frac{v_1}{v_2} = \frac{v(\text{HCl})}{V \cdot \tau} : \frac{v(\text{H}_2\text{SO}_4)}{V \cdot \tau}.$$

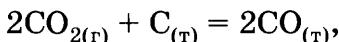
3. Так как по условию реакции значения  $V$  и  $\tau$  в обоих случаях равны, получаем:

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{v(\text{HCl})}{v(\text{H}_2\text{SO}_4)} = \frac{0,6 \text{ моль}}{0,55 \text{ моль}} = 1,09.$$

4. Поскольку  $\frac{v_1}{v_2} > 1$ , скорость первой реакции выше, чем второй.

О т в е т.  $v_1 > v_2$ .

7.4. Через определенный промежуток времени после начала реакции, уравнение которой



концентрация углекислого газа уменьшилась в 4 раза. Во сколько раз при этом уменьшится скорость реакции по сравнению с начальной?

Д а н о.

$$\frac{C_1(\text{CO}_2)}{C_2(\text{CO}_2)} = 4$$

$$\frac{v_1}{v_2} = ?$$

Р е ш е н и е.

1. Запишем уравнение закона действующих масс для начального момента времени. В данном случае скорость реакции будет зависеть только от кон-

центрации  $\text{CO}_2$ , так как углерод — твердое вещество, и считается, что его концентрация не изменяется в ходе реакции:

$$v_1 = kC_1^2(\text{CO}_2).$$

2. Учитывая, что  $C_2(\text{CO}_2) = \frac{C_1(\text{CO}_2)}{4}$ , запишем уравнение закона действующих масс для конечного момента времени:

$$v_2 = k C_2^2(\text{CO}_2) = k \left( \frac{C_1(\text{CO}_2)}{4} \right)^2 = k \frac{C_1^2(\text{CO}_2)}{16}.$$

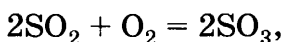
3. Найдем отношение скоростей реакций в начальный момент времени:

$$\frac{v_1}{v_2} = k C_1^2(\text{CO}_2) : k \frac{C_1^2(\text{CO}_2)}{16} = 16.$$

Следовательно, скорость реакции в конечный момент времени в 16 раз меньше скорости реакции в начальный момент времени.

О т в е т. Скорость реакции уменьшается в 16 раз.

**7.5.** Во сколько раз изменится скорость реакции, уравнение которой



при повышении давления в системе в 3 раза?

Д а н о.

$$\frac{p_2}{p_1} = 3$$

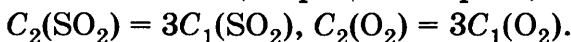
$$\frac{v_2}{v_1} = ?$$

Р е ш е н и е.

1. Согласно закону Бойля—Мариотта,  $pV = \text{const}$ , поэтому увеличение давления в 3 раза равнозначно уменьшению объема в 3 раза:

$$V_2 = \frac{V_1}{3}.$$

2. Так как молярная концентрация вещества — это отношение количества вещества к его объему  $C = \frac{v}{V}$ , уменьшение объема в 3 раза равнозначно увеличению концентрации в 3 раза, т. е.



3. Запишем уравнения скорости реакции до и после повышения давления:

$$v_1 = kC_1^2(\text{SO}_2)C_1(\text{O}_2);$$

$$v_2 = k(3C_1(\text{SO}_2))^2 3C_1(\text{O}_2) = 27 \cdot kC_1^2(\text{SO}_2)C_1(\text{O}_2).$$

4. Найдем отношение скоростей реакций:

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{27kC_1^2(\text{SO}_2)C_1(\text{O}_2)}{kC_1^2(\text{SO}_2)C_1(\text{O}_2)} = 27.$$

О т в е т. Скорость увеличивается в 27 раз.

**7.6.** В системе, в которой реакция протекает по уравнению  $2\text{N}_2\text{O} + \text{O}_2 \longrightarrow 4\text{NO}$ , концентрацию оксида азота (I) увеличили с 0,5 до 0,7 моль/л, а концентрацию кислорода уменьшили от 0,6 до 0,2 моль/л. Как изменилась при этом скорость данной реакции?

Д а н о.

$$C_1(\text{NO}_2) = 0,5 \text{ моль/л}$$

$$C_2(\text{NO}_2) = 0,7 \text{ моль/л}$$

$$C_1(\text{O}_2) = 0,6 \text{ моль/л}$$

$$C_2(\text{O}_2) = 0,2 \text{ моль/л}$$

$$\frac{v_1}{v_2} = ?$$

Р е ш е н и е.

1. Вычислим скорость реакции до и после изменения концентраций:

$$\begin{aligned} v_1 &= k \cdot C_1^2(\text{N}_2\text{O})C_1(\text{O}_2) = \\ &= k \cdot (0,5)^2 \cdot 0,6 = \\ &= k \cdot 0,15 \text{ моль}/(\text{л} \cdot \text{с}); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} v_2 &= k \cdot C_2^2(\text{N}_2\text{O})C_2(\text{O}_2) = k(0,7)^2 \cdot 0,2 = \\ &= k \cdot 0,098 \text{ моль}/(\text{л} \cdot \text{с}). \end{aligned}$$

2. Вычислим отношение скоростей реакций:

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{k \cdot 0,15 \text{ моль}/(\text{л} \cdot \text{с})}{k \cdot 0,098 \text{ моль}/(\text{л} \cdot \text{с})} = 1,53.$$

О т в е т. Скорость реакции уменьшится в 1,53 раза.

**7.7.** Температурный коэффициент реакции равен 3. Во сколько раз увеличится скорость реакции при увеличении температуры на 30 °С?

Д а н о.

$$\gamma = 3$$

$$t_2 - t_1 = 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\frac{v_{t_2}}{v_{t_1}} = ?$$

Р е ш е н и е.

Пользуясь правилом Вант-Гоффа, рассчитаем отношение скоростей реакции при различных температурах:

$$\frac{v_{t_2}}{v_{t_1}} = \gamma^{\frac{t_2 - t_1}{10}}; 3^{\frac{30}{10}} = 3^3 = 27.$$

О т в е т. Скорость реакции увеличится в 27 раз.

**7.8.** Температурный коэффициент реакции равен 2. На сколько градусов нужно увеличить температуру реакции, чтобы ее скорость увеличилась в 8 раз?

Д а н о.

$$\gamma = 2$$

$$\frac{v_{t_2}}{v_{t_1}} = 8$$

$$t_2 - t_1 = ?$$

Р е ш е н и е.

1. Подставив известные значения в формулу Вант-Гоффа, получим:

$$\frac{v_{t_2}}{v_{t_1}} = \gamma^{\frac{t_2 - t_1}{10}}; 8 = 2^3 = 2^{\frac{t_2 - t_1}{10}}.$$

2. Из полученного выражения следует, что:

$$\frac{t_2 - t_1}{10} = 3,$$

таким образом,  $t_2 - t_1 = 3 \cdot 10 = 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

О т в е т. Температуру необходимо увеличить на 30 °С.

**7.9.** При 30 °С реакция протекает за 3 мин 45 с. За какое время будет протекать эта реакция при повышении температуры до 50 °С, если температурный коэффициент равен 3?

Д а н о.

$$\gamma = 3$$

$$\tau_{30\text{ }^{\circ}\text{C}} = 3 \text{ мин } 45 \text{ с}$$

$$t_1 = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$t_2 = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$$

---


$$\tau_{50\text{ }^{\circ}\text{C}} = ?$$

Р е ш е н и е.

1. Учитывая, что скорость реакции обратно пропорциональна времени ее протекания, запишем уравнение Вант-Гоффа:

$$\frac{\tau_{30\text{ }^{\circ}\text{C}}}{\tau_{50\text{ }^{\circ}\text{C}}} = \frac{\nu_{50\text{ }^{\circ}\text{C}}}{\nu_{30\text{ }^{\circ}\text{C}}} = \gamma^{\frac{t_2 - t_1}{10}}.$$

2. Преобразуем полученное уравнение, для того чтобы найти  $\tau_{50\text{ }^{\circ}\text{C}}$ :

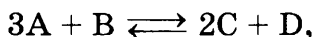
$$\tau_{50\text{ }^{\circ}\text{C}} = \tau_{30\text{ }^{\circ}\text{C}} : \gamma^{\frac{t_2 - t_1}{10}}.$$

3. Используя величины, указанные в условии задачи, найдем  $\tau_{50\text{ }^{\circ}\text{C}}$ :

$$\tau_{50\text{ }^{\circ}\text{C}} = \tau_{30\text{ }^{\circ}\text{C}} : \gamma^{\frac{t_2 - t_1}{10}} = 225 \text{ с} : 3^{\frac{50 - 30}{10}} = 225 \text{ с} : 3^2 = 25 \text{ с}.$$

О т в е т. 25 с.

**7.10.** В реагирующей системе, схема которой



равновесные концентрации веществ А, В и С равны соответственно 0,4, 0,9 и 1,2 моль/л. Найдите исходные концентрации веществ А и В.

Д а н о.

$$[\text{A}] = 0,4 \text{ моль/л}$$

$$[\text{B}] = 0,9 \text{ моль/л}$$

$$[\text{C}] = 1,2 \text{ моль/л}$$

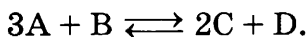
---


$$C(\text{A})_{\text{исх}} = ?$$

$$C(\text{B})_{\text{исх}} = ?$$

Р е ш е н и е.

1. Запишем схему реакции:



2. Примем объем реагирующей смеси равным 1 л. В этом случае моляр-

ные концентрации реагирующих веществ будут равны количествам вещества соединений А, В и С, которые вступили в химическую реакцию.

3. Считая, что в результате реакции образовалось 1,2 моль вещества С, по уравнению реакции найдем количества вещества вступивших в реакцию соединений А и В:

$$\frac{\nu(A)_{\text{прореаг}}}{\nu(C)} = \frac{3}{2}, \text{ следовательно,}$$

$$\nu(A)_{\text{прореаг}} = \frac{\nu(C) \cdot 3}{2} = \frac{1,2 \text{ моль} \cdot 3}{2} = 1,8 \text{ моль};$$

$$\frac{\nu(B)_{\text{прореаг}}}{\nu(C)} = \frac{1}{2}, \text{ следовательно,}$$

$$\nu(B)_{\text{прореаг}} = \frac{\nu(C)}{2} = \frac{1,2 \text{ моль}}{2} = 0,6 \text{ моль}.$$

4. Найдем исходные количества веществ соединений А и В, учитывая их содержание в равновесной смеси:

$$\nu(A)_{\text{исх}} = \nu(A)_{\text{прореаг}} + \nu(A)_{\text{равнов}} = 1,8 \text{ моль} + 0,4 \text{ моль} = 2,2 \text{ моль};$$

$$\nu(B)_{\text{исх}} = \nu(B)_{\text{прореаг}} + \nu(B)_{\text{равнов}} = 0,6 \text{ моль} + 0,9 \text{ моль} = 1,5 \text{ моль}.$$

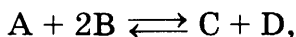
5. Найдем исходные концентрации веществ А и В с учетом того, что объем реагирующей смеси принят нами за 1 л:

$$C(A)_{\text{исх}} = \frac{\nu(A)_{\text{исх}}}{V} = \frac{2,2 \text{ моль}}{1 \text{ л}} = 2,2 \text{ моль/л};$$

$$C(B)_{\text{исх}} = \frac{\nu(B)_{\text{исх}}}{V} = \frac{1,5 \text{ моль}}{1 \text{ л}} = 1,5 \text{ моль/л}.$$

$$\text{О т в е т. } C_{\text{исх}}(A) = 2,2 \text{ моль/л, } C_{\text{исх}}(B) = 1,5 \text{ моль/л}.$$

**7.11.** В реагирующей системе, схема которой



исходные концентрации вещества А — 2 моль/л, вещества В — 5 моль/л, а равновесная концентра-

ция вещества С — 1,5 моль/л. Вычислите константу равновесия в системе.

Д а н о.

$$C(A)_{\text{исх}} = 2 \text{ моль/л}$$

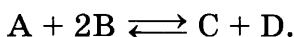
$$C(B)_{\text{исх}} = 5 \text{ моль/л}$$

$$[C] = 1,5 \text{ моль/л}$$

$$K_p = ?$$

Р е ш е н и е.

1. Запишем схему реакции:



2. Примем объем реагирующей смеси равным 1 л.

В этом случае молярные концентрации реагирующих веществ станут равными количествам вещества соединений А, В, С и D, участвующих в химической реакции.

3. Зная, что в результате реакции образовалось 1,5 моль вещества С, по уравнению реакции найдем количества веществ прореагировавших соединений А и В и количество вещества образовавшегося соединения D:

$$\frac{v(A)_{\text{прореаг}}}{v(C)} = \frac{1}{1}, \text{ следовательно, } v(A)_{\text{прореаг}} = v(C) = 1,5 \text{ моль,}$$

$$\frac{v(B)_{\text{прореаг}}}{v(C)} = \frac{2}{1}, \text{ следовательно,}$$

$$v(B)_{\text{прореаг}} = \frac{v(C) \cdot 2}{1} = 1,5 \text{ моль} \cdot 2 = 3 \text{ моль;}$$

$$\frac{v(D)}{v(C)} = \frac{1}{1}, \text{ следовательно,}$$

$$v(D) = v(C) = 1,5 \text{ моль.}$$

4. Зная исходные количества и количества прореагировавших веществ А и В, найдем количества вещества соединений А и В, содержащиеся в равновесной смеси:

$$v(A)_{\text{равнов}} = v(A)_{\text{исх}} - v(A)_{\text{прореаг}} = 2 \text{ моль} - 1,5 \text{ моль} = 0,5 \text{ моль,}$$

$$v(B)_{\text{равнов}} = v(B)_{\text{исх}} - v(B)_{\text{прореаг}} = 5 \text{ моль} - 3 \text{ моль} = 2 \text{ моль.}$$

5. Учитывая, что объем реагирующей смеси принят равным 1 л, найдем равновесные концентрации веществ А, В и D:

$$[A] = \frac{\nu(A)_{\text{равнов}}}{V} = \frac{0,5 \text{ моль}}{1 \text{ л}} = 0,5 \text{ моль/л};$$

$$[B] = \frac{\nu(B)_{\text{равнов}}}{V} = \frac{2 \text{ моль}}{1 \text{ л}} = 2 \text{ моль/л};$$

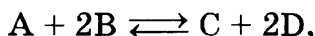
$$[D] = \frac{\nu(D)_{\text{равнов}}}{V} = \frac{1,5 \text{ моль}}{1 \text{ л}} = 1,5 \text{ моль/л}.$$

6. Зная равновесные концентрации веществ А, В, С и D, вычислим константу равновесия:

$$K_p = \frac{[C][D]}{[A][B]^2} = 1,125.$$

О т в е т.  $K_p = 1,125$ .

7.12. В реагирующей системе, схема которой



установилось равновесие, при котором концентрация вещества С равна 0,2 моль/л. Константа равновесия равна 8. Найдите исходную концентрацию вещества А, если исходная концентрация вещества В равна 0,5 моль/л.

Д а н о.

$$[C] = 0,2 \text{ моль/л}$$

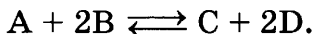
$$C(B)_{\text{исх}} = 0,5 \text{ моль/л}$$

$$K_p = 8$$

$$C(A)_{\text{исх}} - ?$$

Р е ш е н и е.

1. Запишем схему реакции:



2. Примем объем реагирующей смеси равным 1 л. В этом случае

молярные концентрации реагирующих веществ А, В, С и D станут равными их количествам веществ.

3. Зная, что в результате реакции образовалось 0,2 моль вещества С, вычислим количества вещества прореагировавших соединений А и В и количество вещества образовавшегося соединения D:



$$\frac{v(A)_{\text{прореаг}}}{v(C)} = \frac{1}{1}, \text{ следовательно,}$$

$$v(A)_{\text{прореаг}} = v(C) = 0,2 \text{ моль,}$$

$$\frac{v(B)_{\text{прореаг}}}{v(C)} = \frac{2}{1}, \text{ следовательно,}$$

$$v(B)_{\text{прореаг}} = \frac{v(C) \cdot 2}{1} = 0,2 \text{ моль} \cdot 2 = 0,4 \text{ моль,}$$

$$\frac{v(D)}{v(C)} = \frac{2}{1}, \text{ следовательно,}$$

$$v(D) = \frac{v(C) \cdot 2}{1} = 0,2 \text{ моль} \cdot 2 = 0,4 \text{ моль.}$$

4. Учитывая, что первоначально количество вещества В было равно 0,5 моль и что в реакцию вступило 0,4 моль вещества В, вычислим количество вещества В в равновесной смеси:

$$v(B)_{\text{равнов}} = v(B)_{\text{исх}} - v(B)_{\text{прореаг}} = 0,5 \text{ моль} - 0,4 \text{ моль} = 0,1 \text{ моль.}$$

5. С учетом того, что объем реагирующей смеси принят равным 1 л, вычислим равновесные концентрации веществ В и D:

$$[B] = \frac{v(B)_{\text{равнов}}}{V} = \frac{0,1 \text{ моль}}{1 \text{ л}} = 0,1 \text{ моль/л;}$$

$$[D] = \frac{v(D)_{\text{равнов}}}{V} = \frac{0,4 \text{ моль}}{1 \text{ л}} = 0,4 \text{ моль/л.}$$

6. Используя величину константы равновесия для данной реакции, вычислим равновесную концентрацию вещества А:

$$K_p = \frac{[C][D]^2}{[A][B]^2}; [A] = \frac{[C][D]^2}{K_p[B]^2},$$

$$[A] = \frac{0,2 \text{ моль/л} \cdot 0,4^2 \text{ моль/л}}{8 \cdot 0,1^2 \text{ моль/л}} = 0,4 \text{ моль/л.}$$

7. Так как объем реагирующей смеси принят равным 1 л, равновесная концентрация вещества

А равна количеству вещества А, содержащемуся в равновесной смеси (0,4 моль). Зная, что в реакцию вступило 0,2 моль вещества А, рассчитаем исходное количество вещества А и его молярную концентрацию:

$$\nu(A)_{\text{исх}} = \nu(A)_{\text{прореаг}} + \nu(A)_{\text{равнов}} = 0,2 \text{ моль} + 0,4 \text{ моль} = 0,6 \text{ моль};$$

$$C(A)_{\text{исх}} = \frac{\nu(A)_{\text{исх}}}{V} = \frac{0,6 \text{ моль}}{1 \text{ л}} = 0,6 \text{ моль/л.}$$

О т в е т.  $C(A)_{\text{исх}} = 0,6 \text{ моль/л.}$

### ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

**7.13.** В реактор объемом 3 л поместили 8 моль водорода и 6 моль брома. Через 3 мин осталось 1,2 моль непрореагировавшего брома. Вычислите среднюю скорость реакции.

О т в е т.  $v_{\text{ср}} = 0,009 \text{ моль/(л} \cdot \text{с)}.$

**7.14.** Через сосуд, содержащий 200 мл раствора гидроксида бария, пропустили избыток углекислого газа. Через 25 с масса растворенного гидроксида бария уменьшилась на 6,84 г. Определите среднюю скорость реакции.

О т в е т.  $v_{\text{ср}} = 0,008 \text{ моль/(л} \cdot \text{с)}.$

**7.15.** В реакторе объемом 2 л смешали оксид азота (II) и оксид серы (IV). В результате реакции в течение 1,2 мин образовалось 179,2 г азота. Вычислите среднюю скорость реакции.

О т в е т.  $v_{\text{ср}} = 0,044 \text{ моль/(л} \cdot \text{с)}.$

**7.16.** Определите, какая из реакций протекает быстрее, если в первом случае в единицу времени образуется 1,2 г водорода, а во втором — 32,4 г бромоводорода.

О т в е т. Быстрее протекает первая реакция.

**7.17.** Через определенный промежуток времени после начала реакции, уравнение которой



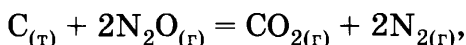
концентрация аммиака уменьшилась в 3 раза. Во сколько раз при этом уменьшится скорость реакции по сравнению с начальной?

**О т в е т.** Скорость реакции уменьшится в 9 раз.

**7.18.** К раствору нитрата серебра добавили избыток алюминия. Через некоторое время концентрация нитрата серебра в растворе уменьшилась в 4 раза. Как изменилась скорость реакции в этот момент времени по сравнению с начальной?

**О т в е т.** Скорость реакции уменьшилась в 64 раза.

**7.19.** Во сколько раз изменится скорость реакции, описываемой уравнением



если давление в системе увеличить в 5 раз?

**О т в е т.** Скорость реакции увеличится в 25 раз.

**7.20.** Как изменится скорость реакции, уравнение которой



при уменьшении давления в реагирующей системе в 4 раза?

**О т в е т.** Скорость реакции уменьшится в 64 раза.

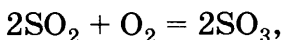
**7.21.** В реакции, схема которой



концентрацию вещества А уменьшили в 2,4 раза, а концентрацию вещества В увеличили в 1,8 раза. Как изменится при этом скорость реакции?

**О т в е т.** Скорость реакции увеличится в 1,35 раза.

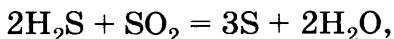
**7.22.** Во сколько раз нужно увеличить концентрацию  $\text{SO}_2$  в реакции, уравнение которой



чтобы при уменьшении концентрации кислорода в 16 раз скорость реакции не изменилась?

О т в е т. В 4 раза.

**7.23.** В реагирующей системе, уравнение которой



концентрацию сероводорода увеличили от 0,8 до 1,2 моль/л, а концентрацию оксида серы (IV) уменьшили от 1,2 до 0,7 моль/л. Как изменится при этом скорость реакции?

О т в е т. Скорость реакции увеличится в 1,3 раза.

**7.24.** В реагирующей системе, уравнение которой



концентрацию фторида азота увеличили от 1,4 моль/л до 2,2 моль/л, а концентрацию водорода уменьшили от 1,6 моль/л до 1,1 моль/л. Как изменится при этом скорость данной реакции?

О т в е т. Скорость реакции уменьшится в 1,25 раза.

**7.25.** Температурный коэффициент реакции равен 2,5. Во сколько раз уменьшится скорость реакции при понижении температуры на  $30^\circ\text{C}$ ?

О т в е т. Скорость реакции уменьшится в 15,625 раза.

**7.26.** Температурный коэффициент реакции равен 3,2. На сколько градусов нужно увеличить температуру, чтобы скорость реакции увеличилась в 104,86 раза?

О т в е т. Температуру необходимо увеличить на  $40^\circ\text{C}$ .

**7.27.** При  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$  реакция протекает за 40 с. За какое время та же реакция будет протекать при  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , если температурный коэффициент реакции равен 3?

О т в е т. Реакция протекает за 18 мин.

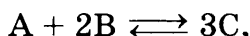
**7.28.** При  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  реакция протекает за 21 мин 20 с, а при  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$  — за 20 с. Вычислите температурный коэффициент реакции.

О т в е т.  $\gamma = 4$ .

**7.29.** Температурный коэффициент реакции равен 3,5. При  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  реакция протекает за 8 мин 10 с. При какой температуре реакция будет протекать за 40 с?

О т в е т.  $t = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

**7.30.** В реагирующей системе, схема которой



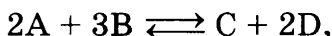
равновесные концентрации веществ А, В и С равны соответственно 1,8, 1,5 и 2,4 моль/л. Вычислите исходные концентрации веществ А и В.

О т в е т.  $C(\text{A}) = 2,6$  моль/л,  $C(\text{B}) = 3,1$  моль/л.

**7.31.** В реагирующей системе, схема которой  $2\text{A} + 2\text{B} \rightleftharpoons \text{C} + 3\text{D}$ , исходная концентрация вещества А равна 6 моль/л, вещества В — 8 моль/л, а равновесная концентрация вещества С — 2,4 моль/л. Вычислите константу равновесия для данной системы.

О т в е т.  $K_p = 60,75$ .

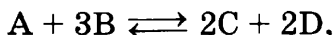
**7.32.** Вычислите константу равновесия в реагирующей системе, схема которой



если исходная концентрация вещества А равна 3 моль/л, вещества В — 4,4 моль/л, а равновесная концентрация вещества А — 0,8 моль/л.

О т в е т.  $K_p = 6,25$ .

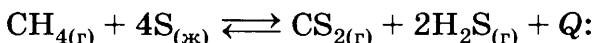
**7.33.** В реагирующей системе, схема которой



установилось равновесие, при котором концентрация вещества С равна 1,2 моль/л. Вычислите исходную концентрацию вещества В, если константа равновесия в системе равна 12, а исходная концентрация вещества А — 1,4 моль/л.

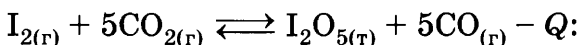
О т в е т.  $C(B) = 2,4$  моль/л.

**7.34.** В каком направлении сместится равновесие в системе:



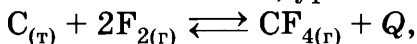
а) при увеличении концентрации сероводорода; б) при дополнительном введении серы; в) при понижении температуры; г) при повышении давления?

**7.35.** Как повлияет на находящуюся в равновесии систему, уравнение которой



а) уменьшение концентрации иода; б) повышение температуры; в) понижение давления; г) добавление катализатора?

**7.36.** Перечислите все факторы, которые позволят сместить равновесие в системе, уравнение которой



в сторону образования продуктов реакции.

Расчеты, связанные с концентрацией растворов, растворимостью веществ, электролитической диссоциацией

### ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Раствором называют гомогенную (однородную) систему, состоящую из двух и более компонентов и продуктов их взаимодействия. Важнейшей характеристикой раствора является его концентрация, которая характеризует содержание раство-

ренного вещества в определенном количестве раствора или растворителя. Существует несколько способов выражения концентрации растворов.

*Массовая доля* — отношение массы растворенного вещества к массе раствора. Чаще всего выражается в процентах, поэтому иногда ее называют «процентной» концентрацией.

*Молярная концентрация* характеризует количество растворенного вещества, выраженное в молях, содержащееся в 1 л раствора. Молярная концентрация вычисляется по формуле

$$C = \frac{v}{V}$$

(где  $C$  — молярная концентрация,  $v$  — количество вещества,  $V$  — объем раствора, измеренный в литрах) и измеряется в моль/л. Часто размерность молярной концентрации обозначают символом  $M$ . Например, раствор с концентрацией 1  $M$  (одномолярный раствор) содержит 1 моль растворенного вещества в 1 л раствора, 0,1  $M$  (децимолярный раствор) — 0,1 моль растворенного вещества в 1 л раствора и т. д.

*Титр* ( $T$ ) определяет массу растворенного вещества (в г), содержащуюся в 1 мл раствора:

$$T = \frac{m}{V}.$$

*Растворимость* характеризует способность вещества растворяться в том или ином растворителе. Растворимость обозначается символом  $S$ , она равна концентрации насыщенного при данной температуре раствора. Чаще всего растворимость измеряют числом граммов вещества, способных раствориться в 100 г растворителя при данной температуре. Важно не путать растворимость с массовой долей вещества в растворе, так как растворимость показывает, сколько граммов растворенного вещества содержится в 100 г растворителя, а массовая доля — сколько граммов растворенного вещества содержится в 100 г раствора.

Растворимость веществ зависит от температуры. Растворимость твердых веществ при повышении температуры, как правило, увеличивается, растворимость газов — уменьшается.

*Диссоциацией* называют процесс распада электролита на ионы при его растворении или расплавлении.

Все электролиты делят на сильные и слабые. Сила электролита характеризуется *степенью диссоциации* ( $\alpha$ ), которая определяется как отношение числа молекул электролита, распавшихся на ионы, к общему числу молекул электролита в растворе:

$$\alpha = \frac{N_{\text{дис}}}{N_{\text{общ}}} \cdot 100\% = \frac{v_{\text{дис}}}{v_{\text{общ}}} \cdot 100\%.$$

Эти величины связаны с концентрацией раствора, поэтому степень диссоциации часто вычисляют с использованием концентрации электролита и его ионов.

## СПОСОБЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

**8.1.** Вычислите молярную концентрацию 4%-ого раствора поваренной соли, плотность которого равна 1,027 г/мл.

Д а н о.

$$\omega(\text{NaCl}) = 4\%$$

$$\rho_{\text{р-ра}}(\text{NaCl}) = 1,027 \text{ г/мл}$$

$$C(\text{NaCl}) — ?$$

Р е ш е н и е.

1. Для решения задачи возьмем образец раствора массой 100 г, вычислим массу растворенного вещества и его количество:

$$m(\text{NaCl}) = \frac{m_{\text{р-ра}}(\text{NaCl}) \cdot \omega(\text{NaCl})}{100\%} = \frac{100 \text{ г} \cdot 4\%}{100\%} = 4 \text{ г};$$

$$v(\text{NaCl}) = \frac{m(\text{NaCl})}{M(\text{NaCl})} = \frac{4 \text{ г}}{58,5 \text{ г/моль}} = 0,068 \text{ моль}.$$



2. Так как молярная концентрация — это отношение количества растворенного вещества к объему раствора (в л), найдем объем раствора:

$$V_{\text{р-ра}}(\text{NaCl}) = \frac{m_{\text{р-ра}}(\text{NaCl})}{\rho} = \frac{100 \text{ г}}{1,027 \text{ г/мл}} = 97,37 \text{ мл} = 0,09737 \text{ л.}$$

3. Рассчитаем молярную концентрацию раствора:

$$C(\text{NaCl}) = \frac{v(\text{NaCl})}{V_{\text{р-ра}}(\text{NaCl})} = \frac{0,068 \text{ моль}}{0,09737 \text{ л}} \approx 0,7 \text{ моль/л.}$$

О т в е т.  $C(\text{NaCl}) \approx 0,7 \text{ моль/л.}$

**8.2.** Найдите массовую долю гидроксида натрия в растворе, молярная концентрация которого равна 3,08 моль/л, а плотность 1,12 г/мл.

Д а н о.

$$C(\text{NaOH}) = 3,08 \text{ моль/л}$$

$$\rho_{\text{р-ра}}(\text{NaOH}) = 1,12 \text{ г/мл}$$

$\omega(\text{NaOH})$  — ?

Р е ш е н и е.

1. Для решения задачи возьмем порцию раствора объемом 1 л. Как следует из определения молярной кон-

центрации, данную порцию раствора содержит 3,08 моль гидроксида натрия. Найдем массу гидроксида натрия, содержащегося в растворе:

$$m(\text{NaOH}) = v(\text{NaOH}) \cdot M(\text{NaOH}) = 3,08 \text{ моль} \cdot 40 \text{ г/моль} = 123,2 \text{ г.}$$

2. Вычислим массу взятой порции раствора:

$$m_{\text{р-ра}}(\text{NaOH}) = V_{\text{р-ра}}(\text{NaOH}) \cdot \rho = 1000 \text{ мл} \times 1,12 \text{ г/мл} = 1120 \text{ г.}$$

3. Определим массовую долю гидроксида натрия:

$$\omega(\text{NaOH}) = \frac{m(\text{NaOH})}{m_{\text{р-ра}}(\text{NaOH})} \cdot 100\% = \frac{123,2 \text{ г}}{1120 \text{ г}} \cdot 100\% = 11\%.$$

О т в е т.  $\omega(\text{NaOH}) = 11\%.$

**8.3.** В 125 г воды растворили 25 г азотной кислоты. Вычислите титр образовавшегося раствора, если его плотность равна 1,095 г/мл.

Д а н о.

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 125 \text{ г}$$

$$m(\text{HNO}_3) = 25 \text{ г}$$

$$\rho_{\text{р-ра}}(\text{HNO}_3) = 1,095 \text{ г/мл}$$

$$T(\text{HNO}_3) = ?$$

Р е ш е н и е.

1. Вычислим массу раствора азотной кислоты:

$$m_{\text{р-ра}}(\text{HNO}_3) = m(\text{H}_2\text{O}) + m(\text{HNO}_3) = 125 \text{ г} + 25 \text{ г} = 150 \text{ г}.$$

2. Найдем объем получившегося раствора:

$$V_{\text{р-ра}}(\text{HNO}_3) = \frac{m_{\text{р-ра}}(\text{HNO}_3)}{\rho_{\text{р-ра}}(\text{HNO}_3)} = \frac{150 \text{ г}}{1,095 \text{ г}} = 137 \text{ мл}.$$

3. Рассчитаем титр данного раствора:

$$T(\text{HNO}_3) = \frac{m(\text{HNO}_3)}{V_{\text{р-ра}}(\text{HNO}_3)} = \frac{25 \text{ г}}{137 \text{ мл}} = 0,182 \text{ г/мл}.$$

$$\text{О т в е т. } T(\text{HNO}_3) = 0,182 \text{ г/мл}.$$

**8.4.** Титр раствора сульфата аммония равен 0,223 г/мл, а его плотность — 1,115 г/мл. Рассчитайте массовую долю сульфата аммония в данном растворе и молярную концентрацию раствора.

Д а н о.

$$T((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4) =$$

$$= 0,223 \text{ г/мл}$$

$$\rho_{\text{р-ра}}((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4) =$$

$$= 1,115 \text{ г/мл}$$

$$\omega((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4) = ?$$

$$C((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4) = ?$$

Р е ш е н и е.

1. Возьмем порцию раствора объемом 1 л. Согласно определению титра, в 1 мл раствора содержится 0,223 г сульфата аммония, следовательно, в 1 л — в 1000 раз больше:

$$m((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4) = T((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4) \cdot 1000 \text{ мл} = 0,223 \text{ г/мл} \cdot 1000 \text{ мл} = 223 \text{ г}.$$

2. Вычислим количество вещества сульфата аммония, содержащегося в 1 л раствора, и его молярную концентрацию:

$$\nu((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4) = \frac{m((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4)}{M((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4)} = \frac{223 \text{ г}}{132 \text{ г/моль}} = 1,689 \text{ моль};$$

$$C((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4) = \frac{\nu((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4)}{V_{\text{р-ра}}((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4)} = \frac{1,689 \text{ моль}}{1 \text{ л}} = 1,689 \text{ моль/л}.$$

3. Найдем массу одного литра раствора:

$$m_{\text{р-ра}}((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4) = V_{\text{р-ра}}((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4) \cdot \rho = 1000 \text{ мл} \cdot 1,115 \text{ г/мл} = 1115 \text{ г}.$$

4. Найдем массовую долю сульфата аммония в данном растворе:

$$\omega((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4) = \frac{m((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4)}{m_{\text{р-ра}}((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4)} \cdot 100\% = \frac{223 \text{ г}}{1115 \text{ г}} \cdot 100\% = 20\%.$$

О т в е т.  $C((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4) = 1,689 \text{ моль/л}$ ,  
 $\omega((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4) = 20\%.$

**8.5.** Какую массу гидроксида калия и воды нужно взять для приготовления 250 г раствора с концентрацией 1,94 моль/л, плотность которого 1,09 г/мл?

Д а н о.

$$\begin{aligned} m_{\text{р-ра}}(\text{KOH}) &= 250 \text{ г} \\ C(\text{KOH}) &= 1,94 \text{ моль/л} \\ \rho_{\text{р-ра}}(\text{KOH}) &= 1,09 \text{ г/мл} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m(\text{KOH}) &— ? \\ m(\text{H}_2\text{O}) &— ? \end{aligned}$$

Р е ш е н и е.

1. Рассчитаем объем раствора, который нужно приготовить:

$$\begin{aligned} V_{\text{р-ра}}(\text{KOH}) &= \frac{m_{\text{р-ра}}(\text{KOH})}{\rho_{\text{р-ра}}(\text{KOH})} = \frac{250 \text{ г}}{1,09 \text{ г/мл}} = 229,36 \text{ мл} = 0,229 \text{ л}. \end{aligned}$$

2. Зная объем раствора и его молярную концентрацию, вычислим количество вещества гидроксида калия:

$$\nu(\text{KOH}) = C(\text{KOH}) \cdot V_{\text{р-ра}}(\text{KOH}) = 1,94 \text{ моль/л} \times \times 0,229 \text{ л} = 0,444 \text{ моль}.$$

3. Найдем массу гидроксида калия, необходимую для приготовления данного раствора:

$$m(\text{KOH}) = \nu(\text{KOH}) \cdot M(\text{KOH}) = 0,444 \text{ моль} \times \times 56 \text{ г/моль} = 24,86 \text{ г}.$$

4. Найдем массу воды, необходимую для приготовления данного раствора:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = m_{\text{р-ра}}(\text{KOH}) - m(\text{KOH}) = 250 \text{ г} - 24,86 \text{ г} = = 225,14 \text{ г}.$$

О т в е т.  $m(\text{KOH}) = 24,86 \text{ г}$ ,  $m(\text{H}_2\text{O}) = 225,14 \text{ г}$ .

**8.6.** Смешали 150 г 20% -ного раствора нитрата калия и 100 г 12% -ного раствора того же вещества. Вычислите молярную концентрацию полученного раствора, если его плотность равна 1,18 г/мл.

Д а н о.

$$m_{\text{р-ра } 1}(\text{KNO}_3) = 150 \text{ г}$$

$$m_{\text{р-ра } 2}(\text{KNO}_3) = 100 \text{ г}$$

$$\omega_1(\text{KNO}_3) = 20\%$$

$$\omega_2(\text{KNO}_3) = 12\%$$

$$\rho_{\text{р-ра}}(\text{KNO}_3) =$$

$$= 1,18 \text{ г/мл}$$

$$C(\text{KNO}_3) - ?$$

Р е ш е н и е.

1. Найдем массу полученного раствора нитрата калия:

$$\begin{aligned} m_{\text{р-ра}}(\text{KNO}_3) &= \\ &= m_{\text{р-ра } 1}(\text{KNO}_3) + \\ &+ m_{\text{р-ра } 2}(\text{KNO}_3) = \\ &= 150 \text{ г} + 100 \text{ г} = 250 \text{ г}. \end{aligned}$$

2. Зная плотность, вычислим объем полученного раствора:

$$\begin{aligned} V_{\text{р-ра}}(\text{KNO}_3) &= \frac{m_{\text{р-ра}}(\text{KNO}_3)}{\rho} = \frac{250 \text{ г}}{1,18 \text{ г/мл}} = 212 \text{ мл} = \\ &= 0,212 \text{ л}. \end{aligned}$$

3. Вычислим массы нитрата калия, содержащиеся в исходных растворах, и общую массу соли в новом растворе:

$$m_1(\text{KNO}_3) = \frac{m_{\text{р-ра } 1}(\text{KNO}_3) \cdot \omega_1(\text{KNO}_3)}{100\%} = \\ = \frac{150 \text{ г} \cdot 20\%}{100\%} = 30 \text{ г};$$

$$m_2(\text{KNO}_3) = \frac{m_{\text{р-ра } 2}(\text{KNO}_3) \cdot \omega_2(\text{KNO}_3)}{100\%} = \\ = \frac{100 \text{ г} \cdot 12\%}{100\%} = 12 \text{ г};$$

$$m(\text{KNO}_3) = m_1(\text{KNO}_3) + m_2(\text{KNO}_3) = 30 \text{ г} + 12 \text{ г} = \\ = 42 \text{ г}.$$

4. Найдем количество вещества нитрата калия в новом растворе и его молярную концентрацию:

$$\nu(\text{KNO}_3) = \frac{m(\text{KNO}_3)}{M(\text{KNO}_3)} = \frac{42 \text{ г}}{101 \text{ г/моль}} = 0,41 \text{ моль};$$

$$C(\text{KNO}_3) = \frac{\nu(\text{KNO}_3)}{V_{\text{р-ра}}(\text{KNO}_3)} = \frac{0,41 \text{ моль}}{0,212 \text{ л}} = 1,93 \text{ моль/л}.$$

О т в е т.  $C(\text{KNO}_3) = 1,93 \text{ моль/л}.$

8.7. Массовая доля соли в насыщенном при некоторой температуре растворе равна 22,5%. Какая масса соли при данной температуре может раствориться в 100 г растворителя?

Д а н о.

$$\omega(\text{соли}) = 22,5\%$$

$$S(\text{соли}) = ?$$

Р е ш е н и е.

1. Для решения задачи возьмем насыщенный раствор соли массой 100 г. Найдем массу растворенной соли:

$$m(\text{соли}) = \frac{m_{\text{р-ра}}(\text{соли}) \cdot \omega(\text{соли})}{100\%} = \frac{100 \text{ г} \cdot 22,5\%}{100\%} = \\ = 22,5 \text{ г}.$$

2. Вычислим массу растворителя, содержащегося в 100 г раствора:

$$m(\text{р-ля}) = m(\text{р-ра}) - m(\text{соли}) = 100 \text{ г} - 22,5 \text{ г} = \\ = 77,5 \text{ г}.$$

3. Зная, что в 77,5 г растворителя при данной температуре может раствориться 22,5 г соли, составим пропорцию и найдем массу соли, которая растворится в 100 г растворителя, т. е. растворимость соли при данной температуре:

22,5 г соли растворится в 77,5 г растворителя;  
 $x$  г соли — в 100 г растворителя:

$$x = \frac{22,5 \text{ г} \cdot 100 \text{ г}}{77,5 \text{ г}} = 29 \text{ г}.$$

О т в е т.  $S(\text{соли}) = 29 \text{ г}.$

8.8. При 25 °С растворимость хлорида калия в воде составляет 25 г соли на 100 г воды. Вычислите массовую долю соли в насыщенном растворе и его молярную концентрацию, если плотность насыщенного раствора равна 1,132 г/мл.

Д а н о.

$$S_{25^\circ\text{C}}(\text{KCl}) = 25 \text{ г в } 100 \text{ г } \text{H}_2\text{O}$$

$$\rho_{\text{р-ра}}(\text{KCl}) = 1,132 \text{ г/мл}$$

$$\omega(\text{KCl}) — ?$$

$$C(\text{KCl}) — ?$$

Р е ш е н и е.

1. Если в 100 г воды растворится 25 г соли, то масса полученного раствора будет равна:

$$m_{\text{р-ра}}(\text{KCl}) = m(\text{KCl}) + m(\text{H}_2\text{O}) = 25 \text{ г} + 100 \text{ г} = 125 \text{ г}.$$

2. Зная массу растворенного вещества и массу раствора, вычислим массовую долю соли в насыщенном растворе:

$$\omega(\text{KCl}) = \frac{m(\text{KCl})}{m_{\text{р-ра}}(\text{KCl})} \cdot 100\% = \frac{25 \text{ г}}{125 \text{ г}} \cdot 100\% = 20\%.$$

3. Найдем количество вещества растворенного хлорида калия:

$$\nu(\text{KCl}) = \frac{m(\text{KCl})}{M(\text{KCl})} = \frac{25 \text{ г}}{74,5 \text{ г/моль}} = 0,336 \text{ моль}.$$

4. Вычислим объем насыщенного раствора хлорида калия:

$$V_{\text{р-ра}}(\text{KCl}) = \frac{m_{\text{р-ра}}(\text{KCl})}{\rho_{\text{р-ра}}(\text{KCl})} = \frac{125 \text{ г}}{1,132 \text{ г/мл}} = 110,4 \text{ мл} = 0,1104 \text{ л}.$$

5. Рассчитаем молярную концентрацию хлорида калия в растворе:

$$C(\text{KCl}) = \frac{\nu(\text{KCl})}{V_{\text{р-ра}}(\text{KCl})} = \frac{0,336 \text{ моль}}{0,1104 \text{ л}} = 3,04 \text{ моль/л.}$$

О т в е т.  $\omega(\text{KCl}) = 20\%$ ,  $C(\text{KCl}) = 3,04 \text{ моль/л.}$

8.9. Растворимость соли при температуре  $50^\circ\text{C}$  равна 45 г на 100 г воды, при температуре  $20^\circ\text{C}$  — 16 г на 100 г воды. Какая масса осадка выделится при охлаждении до  $20^\circ\text{C}$  110 г раствора, насыщенного при температуре  $50^\circ\text{C}$ ?

Д а н о.

$$S_{50^\circ\text{C}} = 25 \text{ г}$$

$$S_{20^\circ\text{C}} = 16 \text{ г}$$

$$m(\text{р-ра}) = 110 \text{ г}$$

$$m(\text{осадка}) = ?$$

Р е ш е н и е.

1. Если в 100 г воды при температуре  $50^\circ\text{C}$  растворится 45 г соли, то масса полученного раствора будет равна:

$$m(\text{р-ра})_{50^\circ\text{C}} = m(\text{H}_2\text{O}) + m(\text{соли}) = 100 \text{ г} + 45 \text{ г} = 145 \text{ г.}$$

Так как при  $20^\circ\text{C}$  в 100 г воды растворяется только 16 г соли, масса раствора при  $20^\circ\text{C}$  будет равна:

$$m(\text{р-ра})_{20^\circ\text{C}} = m(\text{H}_2\text{O}) + m(\text{соли}) = 100 \text{ г} + 16 \text{ г} = 116 \text{ г.}$$

Таким образом, если насыщенный при  $50^\circ\text{C}$  раствор массой 145 г охладить до  $20^\circ\text{C}$ , то выпадет осадок массой:

$$m(\text{осадка}) = m(\text{р-ра})_{50^\circ\text{C}} - m(\text{р-ра})_{20^\circ\text{C}} = 145 \text{ г} - 116 \text{ г} = 29 \text{ г.}$$

2. Так как масса выпавшего осадка пропорциональна массе охлаждаемого раствора, получим:

при охлаждении 145 г раствора выпадает 29 г осадка;

при охлаждении 110 г раствора выпадает  $x$  г осадка:

$$x = \frac{110 \text{ г} \cdot 29 \text{ г}}{145 \text{ г}} = 22 \text{ г.}$$

О т в е т.  $m(\text{осадка}) = 22 \text{ г.}$

**8.10.** Массовая доля соли в растворе, насыщенном при температуре 40 °С, равна 35%. При охлаждении 300 г этого раствора до температуры 10 °С в осадок выпадает 45 г соли. Определите растворимость соли при 10 °С.

Д а н о.

$$\begin{aligned}\omega(\text{соли}) &= 35\% \\ m(\text{осадка}) &= 45 \text{ г} \\ m(\text{р-ра}) &= 300 \text{ г}\end{aligned}$$

$$S_{10\text{ }^{\circ}\text{C}}(\text{соли}) = ?$$

Р е ш е н и е.

1. Найдем массу соли, содержащейся в 300 г раствора при 40 °С:

$$m_{40\text{ }^{\circ}\text{C}}(\text{соли}) = \frac{m_{\text{р-ра}}(\text{соли}) \cdot \omega(\text{соли})}{100\%} = \frac{300 \text{ г} \cdot 35\%}{100\%} = 105 \text{ г}.$$

2. Найдем массу соли, оставшейся в растворе после охлаждения до 10 °С:

$$m(\text{соли})_{10\text{ }^{\circ}\text{C}} = m(\text{соли})_{40\text{ }^{\circ}\text{C}} - m(\text{осадка}) = 105 \text{ г} - 45 \text{ г} = 60 \text{ г}.$$

3. Вычислим массу воды в растворе:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = m(\text{р-ра})_{40\text{ }^{\circ}\text{C}} - m(\text{соли})_{40\text{ }^{\circ}\text{C}} = 300 \text{ г} - 105 \text{ г} = 195 \text{ г}.$$

4. Так как масса воды в растворе при охлаждении не изменяется, при 10 °С в 195 г воды будет растворено 60 г соли. Составим пропорцию и найдем массу соли, которая может быть растворена в 100 г воды при 10 °С, т. е. растворимость соли при данной температуре:

в 195 г воды растворено 60 г соли;

в 100 г воды —  $x$  г соли:

$$x = \frac{100 \text{ г} \cdot 60 \text{ г}}{195 \text{ г}} = 30,77 \text{ г}.$$

$$\text{О т в е т. } S_{10\text{ }^{\circ}\text{C}} = 30,77 \text{ г}.$$

**8.11.** В 1 л воды растворили 56 л (н. у.) хлороводорода. В полученном растворе содержится  $13,244 \cdot 10^{23}$  хлорид-ионов. Определите молярную



концентрацию и степень диссоциации полученной соляной кислоты, если плотность полученного раствора равна 1,04 г/мл.

Д а н о.

$$V(\text{H}_2\text{O}) = 1 \text{ л}$$

$$V(\text{HCl}) = 56 \text{ л}$$

$$N(\text{Cl}^-) = 13,244 \cdot 10^{23}$$

$$\rho_{\text{р-ра}}(\text{HCl}) = 1,04 \text{ г/мл}$$

$$\alpha(\text{HCl}) = ?$$

$$C(\text{HCl}) = ?$$

Р е ш е н и е.

1. Вычислим количество вещества растворенного в воде хлороводорода:

$$\begin{aligned} \nu(\text{HCl}) &= \frac{V(\text{HCl})}{V_m} = \\ &= \frac{56 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} = 2,5 \text{ моль.} \end{aligned}$$

2. Найдем число молекул хлороводорода, растворенного в воде:

$$\begin{aligned} N(\text{HCl}) &= \nu(\text{HCl}) \cdot N_A = \\ &= 2,5 \text{ моль} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1} = 15,05 \cdot 10^{23}. \end{aligned}$$

3. Так как при диссоциации одной молекулы хлороводорода образуется один хлорид-анион ( $\text{HCl} = \text{H}^+ + \text{Cl}^-$ ), количество хлорид-анионов равно количеству молекул  $\text{HCl}$ , распавшихся на ионы:

$$N(\text{Cl}^-) = N_{\text{дис}}(\text{HCl}) = 13,244 \cdot 10^{23}.$$

4. Найдем степень диссоциации хлороводорода:

$$\begin{aligned} \alpha(\text{HCl}) &= \frac{N(\text{HCl})_{\text{дис}}}{N(\text{HCl})} \cdot 100\% = \frac{13,244 \cdot 10^{23}}{15,05 \cdot 10^{23}} \cdot 100\% = \\ &= 88\%. \end{aligned}$$

5. Вычислим массу растворенного хлороводорода и массу раствора, считая плотность воды равной 1 г/мл:

$$\begin{aligned} m(\text{HCl}) &= \nu(\text{HCl}) \cdot M(\text{HCl}) = 2,5 \text{ моль} \cdot 36,5 \text{ г/моль} = \\ &= 91,25 \text{ г}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m(\text{H}_2\text{O}) &= \nu(\text{H}_2\text{O}) \cdot \rho(\text{H}_2\text{O}) = 1000 \text{ мл} \cdot 1 \text{ г/мл} = \\ &= 1000 \text{ г}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m_{\text{р-ра}}(\text{HCl}) &= m(\text{H}_2\text{O}) + m(\text{HCl}) = 1000 \text{ г} + 91,25 \text{ г} = \\ &= 1091,25 \text{ г.} \end{aligned}$$

6. Зная плотность полученного раствора, вычислим его объем:

$$V_{\text{р-ра}}(\text{HCl}) = \frac{m_{\text{р-ра}}(\text{HCl})}{\rho_{\text{р-ра}}(\text{HCl})} = \frac{1091,25 \text{ г}}{1,04 \text{ г/мл}} = 1049,3 \text{ мл} = 1,0493 \text{ л.}$$

7. Рассчитаем молярную концентрацию хлороводорода в растворе:

$$C(\text{HCl}) = \frac{\nu(\text{HCl})}{V_{\text{р-ра}}(\text{HCl})} = \frac{2,5 \text{ моль}}{1,0493 \text{ л}} = 2,38 \text{ моль/л.}$$

О т в е т.  $\alpha(\text{HCl}) = 88\%$ ,  $C(\text{HCl}) = 2,38 \text{ моль/л.}$

**8.12.** Степень диссоциации гидроксида бария по первой ступени — 92%, по второй ступени — 56%. Рассчитайте число катионов бария и число гидроксид-ионов в 0,5 л 1,5 М раствора.

Д а н о.

$$\alpha_1(\text{Ba}(\text{OH})_2) = 92\%$$

$$\alpha_2(\text{Ba}(\text{OH})_2) = 56\%$$

$$V_{\text{р-ра}}(\text{Ba}(\text{OH})_2) =$$

$$= 0,5 \text{ л} = 500 \text{ мл}$$

$$C(\text{Ba}(\text{OH})_2) =$$

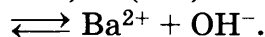
$$= 1,5 \text{ М} = 1,5 \text{ моль/л}$$

$$N(\text{Ba}^{2+}) - ?$$

$$N(\text{OH}^-) - ?$$

Р е ш е н и е.

1. Запишем уравнение электролитической диссоциации гидроксида бария:



2. Найдем количество вещества гидроксида бария, содержащегося в данном образце раствора:

$$\nu(\text{Ba}(\text{OH})_2) = C(\text{Ba}(\text{OH})_2) \cdot V_{\text{р-ра}}(\text{Ba}(\text{OH})_2) = 1,5 \text{ моль/л} \cdot 0,5 \text{ л} = 0,75 \text{ моль.}$$

3. Зная степень диссоциации, вычислим число молекул  $\text{Ba}(\text{OH})_2$ , распавшихся на ионы по первой ступени диссоциации:

$$\begin{aligned} \nu_{\text{дис}}(\text{Ba}(\text{OH})_2) &= \frac{\alpha_1(\text{Ba}(\text{OH})_2) \cdot \nu(\text{Ba}(\text{OH})_2)}{100\%} = \\ &= \frac{0,75 \text{ моль} \cdot 92\%}{100\%} = 0,69 \text{ моль.} \end{aligned}$$

Согласно уравнению реакции 1), это количество вещества равно количеству вещества гидроксид-ионов, образовавшихся по первой стадии диссоциации, и количеству ионов  $\text{Ba}(\text{OH})^+$ :

$$\nu(\text{Ba}(\text{OH})^+) = \nu_1(\text{OH}^-) = \nu_{\text{дис}}(\text{Ba}(\text{OH})_2) = 0,69 \text{ моль.}$$

4. Исходя из количества вещества гидроксокаатионов бария, образовавшихся на первой стадии диссоциации, и степени диссоциации по второй ступени, вычислим количество ионов  $\text{Ba}(\text{OH})^+$ , диссоциирующих по второй ступени:

$$\begin{aligned} \nu(\text{Ba}(\text{OH})^+)_{\text{дис}} &= \frac{\alpha_2(\text{Ba}(\text{OH})_2) \cdot \nu(\text{Ba}(\text{OH})^+)}{100\%} = \\ &= \frac{0,69 \text{ моль} \cdot 56\%}{100\%} = 0,386 \text{ моль.} \end{aligned}$$

В соответствии с уравнением реакции 2) это количество вещества равно количеству вещества катионов  $\text{Ba}^{2+}$  и количеству ионов  $\text{OH}^-$ , образовавшихся по второй ступени диссоциации:

$$\nu(\text{Ba}^{2+}) = \nu_2(\text{OH}^-) = \nu_{\text{дис}}(\text{Ba}(\text{OH})^+) = 0,386 \text{ моль.}$$

5. Найдем число катионов  $\text{Ba}^{2+}$ , образующихся при диссоциации:

$$\begin{aligned} N(\text{Ba}^{2+}) &= \nu(\text{Ba}^{2+}) \cdot N_A = 0,386 \text{ моль} \cdot 6,02 \times \\ &\times 10^{23} \text{ моль}^{-1} = 2,324 \cdot 10^{23}. \end{aligned}$$

6. Вычислим количество вещества гидроксид-ионов, образовавшихся на обеих стадиях диссоциации, и их число:

$$\begin{aligned} \nu_2(\text{OH}^-) &= \nu_1(\text{OH}^-) + \nu_2(\text{OH}^-) = 0,69 \text{ моль} + \\ &+ 0,386 \text{ моль} = 1,076 \text{ моль;} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N(\text{OH}^-) &= \nu(\text{OH}^-) \cdot N_A = 1,076 \text{ моль} \cdot 6,02 \times \\ &\times 10^{23} \text{ моль}^{-1} = 6,478 \cdot 10^{23}. \end{aligned}$$

$$\text{О т в е т. } N(\text{Ba}^{2+}) = 2,324 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}, N(\text{OH}^-) = 6,478 \cdot 10^{23}.$$

**8.13.** Растворимость сульфата магния при  $70^\circ\text{C}$  равна 59 г на 100 г воды, а при  $20^\circ\text{C}$  — 35 г на 100 г воды. Какая масса кристаллогидрата, фор-

мула которого  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , выпадет в осадок при охлаждении до  $20^\circ\text{C}$  500 г раствора сульфата магния, насыщенного при  $70^\circ\text{C}$ ?

Д а н о.

$$S_{70^\circ\text{C}}(\text{MgSO}_4) = 59 \text{ г}$$

$$S_{20^\circ\text{C}}(\text{MgSO}_4) = 35 \text{ г}$$

$$m_{\text{р-ра}}(\text{MgSO}_4) = 500 \text{ г}$$

$$m(\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}) \text{ — ?}$$

Р е ш е н и е.

1. Вычислим массовую долю соли в растворе, насыщенном при  $70^\circ\text{C}$ . Если в 100 г воды при данной температуре растворить 59 г соли, мы получим раствор массой 159 г:

$$m_{\text{р-ра}}(\text{MgSO}_4)_{70^\circ\text{C}} = m(\text{MgSO}_4) + m(\text{H}_2\text{O}) = 100 \text{ г} + 59 \text{ г} = 159 \text{ г}.$$

Массовая доля соли в этом растворе будет равна:

$$\begin{aligned} \omega(\text{MgSO}_4)_{70^\circ\text{C}} &= \frac{m(\text{MgSO}_4)}{m_{\text{р-ра}}(\text{MgSO}_4)_{70^\circ\text{C}}} \cdot 100\% = \\ &= \frac{59 \text{ г}}{159 \text{ г}} \cdot 100\% = 37,1\%. \end{aligned}$$

2. Аналогично вычислим массовую долю соли в растворе при  $20^\circ\text{C}$ :

$$m_{\text{р-ра}}(\text{MgSO}_4)_{20^\circ\text{C}} = m(\text{H}_2\text{O}) + m(\text{MgSO}_4) = 100 \text{ г} + 35 \text{ г} = 135 \text{ г};$$

$$\begin{aligned} \omega(\text{MgSO}_4)_{20^\circ\text{C}} &= \frac{m(\text{MgSO}_4)}{m_{\text{р-ра}}(\text{MgSO}_4)_{20^\circ\text{C}}} \cdot 100\% = \\ &= \frac{35 \text{ г}}{135 \text{ г}} \cdot 100\% = 25,9\%. \end{aligned}$$

3. Найдем массу соли, содержащейся в 500 г раствора:

$$\begin{aligned} m(\text{MgSO}_4) &= \frac{m_{\text{р-ра}}(\text{MgSO}_4)_{70^\circ\text{C}} \cdot \omega(\text{MgSO}_4)_{70^\circ\text{C}}}{100\%} = \\ &= \frac{500 \text{ г} \cdot (37,1\%)}{100\%} = 185,5 \text{ г}. \end{aligned}$$

4. Пусть количество вещества сульфата магния, выпавшего в осадок в виде кристаллогидрата при

охлаждении раствора, будет равно  $x$  моль. Тогда его масса будет равна:

$$m(\text{MgSO}_4) = v(\text{MgSO}_4) \cdot M(\text{MgSO}_4) = \\ = x \text{ моль} \cdot 120 \text{ г/моль} = 120x \text{ г.}$$

Количество вещества сульфата магния равно количеству вещества выпавшего в осадок кристаллогидрата (так как в состав одной молекулы кристаллогидрата входит одна молекула  $\text{MgSO}_4$ ):

$$v(\text{MgSO}_4) = v(\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}) = x \text{ моль.}$$

Масса кристаллогидрата соответственно равна:

$$m(\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}) = v(\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}) \cdot M(\text{MgSO}_4 \times \\ \times 7\text{H}_2\text{O}) = x \text{ моль} \cdot 246 \text{ г/моль} = 246x \text{ г.}$$

5. При охлаждении раствора масса растворенной соли уменьшается за счет массы сульфата магния, входящего в состав кристаллогидрата. Следовательно, масса соли, оставшейся в растворе после охлаждения, будет равна:

$$m_{\text{ост}}(\text{MgSO}_4) = 185,5 \text{ г} - 120x \text{ г.}$$

Масса раствора станет меньше на массу кристаллогидрата, выпавшего в осадок:

$$m_{\text{ост. р-ра}}(\text{MgSO}_4) = 500 \text{ г} - 246x \text{ г.}$$

6. Используя вычисленную ранее массовую долю соли в охлажденном растворе, составим уравнение:

$$\omega(\text{MgSO}_4)_{20^\circ \text{C}} = \frac{m_{\text{ост}}(\text{MgSO}_4)}{m_{\text{ост. р-ра}}(\text{MgSO}_4)} \cdot 100\%, \text{ или}$$

$$25,9\% = \frac{185,5 - 120x}{500 - 246x} \cdot 100\%.$$

7. Решая уравнение, находим, что

$$x = v(\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}) = 1.$$

8. Вычисляем массу кристаллогидрата, выпавшего в осадок:

$$m(\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}) = v(\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}) \cdot M(\text{MgSO}_4 \times \\ \times 7\text{H}_2\text{O}) = 1 \text{ моль} \cdot 246 \text{ г/моль} = 246 \text{ г.}$$

$$\text{О т в е т. } m(\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}) = 246 \text{ г.}$$

## ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

**8.14.** Вычислите молярную концентрацию раствора с массовой долей серной кислоты 22%, плотность которого 1,155 г/мл.

О т в е т.  $C(\text{H}_2\text{SO}_4) = 2,59$  моль/л.

**8.15.** К 120 г раствора гидроксида калия с массовой долей соли 15% добавили 32,4 г твердого гидроксида калия. Какова молярная концентрация полученного раствора, если его плотность равна 1,32 г/мл?

О т в е т.  $C(\text{KOH}) = 7,79$  моль/л.

**8.16.** Смешали 300 г 0,3 М раствора  $\text{K}_2\text{CO}_3$  ( $\rho = 1,034$  г/мл) и 200 г 2,5 М раствора того же вещества ( $\rho = 1,274$  г/мл). Какова молярная концентрация полученного раствора ( $\rho = 1,06$  г/мл)?

О т в е т.  $C(\text{K}_2\text{CO}_3) = 1,02$  моль/л.

**8.17.** К 350 мл раствора хлорида аммония с молярной концентрацией 5,2 моль/л ( $\rho = 1,072$  г/мл) добавили 100 мл воды. Найдите массовую долю соли в полученном растворе.

О т в е т.  $\omega(\text{NH}_4\text{Cl}) = 20,5\%$ .

**8.18.** Смешали 250 г 22%-ного раствора фосфорной кислоты и 250 мл раствора фосфорной кислоты, молярная концентрация которого 8 моль/л, а плотность 1,39 г/мл. Вычислите молярную концентрацию полученного раствора и массовую долю фосфорной кислоты в нем ( $\rho = 1,27$  г/мл).

О т в е т.  $C(\text{H}_3\text{PO}_4) = 5,44$  моль/л,  $\omega(\text{H}_3\text{PO}_4) = 42\%$ .

**8.19.** В 250 г воды растворили 68 г нитрата натрия. Найдите молярную концентрацию полученного раствора ( $\rho = 1,015$  г/мл).

О т в е т.  $C(\text{NaNO}_3) = 2,55$  моль/л.

**8.20.** 125 г медного купороса растворили в 200 мл воды. Плотность полученного раствора равна 1,14 г/мл. Какова его молярная концентрация?

О т в е т.  $C(\text{CuSO}_4) = 1,75$  моль/л.

**8.21.** Плотность 32%-ного раствора плавиковой кислоты равна 1,107 г/мл. Вычислите титр данного раствора.

О т в е т.  $T(\text{HF}) = 0,354$  г/мл.

**8.22.** Титр раствора хлорида кальция равен 0,307 г/мл, а его плотность — 1,228 г/мл. Вычислите массовую долю хлорида кальция в данном растворе.

О т в е т.  $\omega(\text{CaCl}_2) = 25\%$ .

**8.23.** Какова массовая доля хлорной кислоты в растворе, титр которого равен 0,454 г/мл, а плотность — 1,26 г/мл?

О т в е т.  $\omega(\text{HClO}_4) = 36\%$ .

**8.24.** Какую массу карбоната калия нужно взять для приготовления 300 г раствора, молярная концентрация которого 4,8 моль/л, а плотность — 1,476 г/мл?

О т в е т.  $m(\text{K}_2\text{CO}_3) = 134,6$  г.

**8.25.** Вычислите массу воды, необходимой для приготовления 125 г раствора гидроксида натрия с молярной концентрацией 10 моль/л и плотностью 1,33 г/мл.

О т в е т.  $m(\text{H}_2\text{O}) = 87,4$  г.

**8.26.** Найдите массу кристаллогидрата с формулой  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , которую нужно использовать для приготовления 360 г раствора с молярной концентрацией 0,77 моль/л и плотностью 1,09 г/мл.

О т в е т.  $m(\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}) = 62,5$  г.

**8.27.** Массовая доля соли в растворе, насыщенном при 25 °С, равна 42%. Какова растворимость данной соли при 25 °С (в г на 100 г воды)?

О т в е т.  $S_{25\text{ }^{\circ}\text{C}}(\text{соли}) = 72,4\text{ г.}$

**8.28.** Молярная концентрация насыщенного раствора карбоната натрия при 20 °С равна 1,99 моль/л, а плотность — 1,19 г/мл. Какова растворимость карбоната натрия при 20 °С (в г на 100 г воды)?

О т в е т.  $S_{20\text{ }^{\circ}\text{C}}(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 21,55\text{ г.}$

**8.29.** Растворимость соли при 45 °С равна 74 г. Вычислите массовую долю (в %) соли в растворе, насыщенном при 45 °С.

О т в е т.  $\omega(\text{соли}) = 42,5\%.$

**8.30.** При 40 °С в 100 г воды растворяется 69,5 г хлорида кобальта (II). Какова молярная концентрация раствора хлорида кобальта (II), насыщенного при 40 °С ( $\rho = 1,35\text{ г/мл}$ )?

О т в е т.  $C(\text{CoCl}_2) = 4,26\text{ моль/л.}$

**8.31.** Растворимость сульфата лития при 20 °С равна 34,7 г. Найдите массовую долю и молярную концентрацию раствора, насыщенного при 20 °С (плотность равна 1,16 г/мл).

О т в е т.  $\omega(\text{Li}_2\text{SO}_4) = 25,76\%,\ C(\text{Li}_2\text{SO}_4) = 2,7\text{ моль/л.}$

**8.32.** Раствор с молярной концентрацией хлорида меди (II) 2,91 моль/л при 20 °С и плотностью 1,396 г/мл является насыщенным при 20 °С. Какова растворимость хлорида меди (II) при данной температуре (в г на 100 г  $\text{H}_2\text{O}$ )?

О т в е т.  $S(\text{CuCl}_2) = 38,9\text{ г.}$

**8.33.** Растворимость хлорида марганца (II) при 40 °С составляет 88,6 г на 100 г воды, а при 10 °С — 68,1 г на 100 г воды. Какая масса хлорида



марганца (II) выпадает в осадок при охлаждении до  $10^{\circ}\text{C}$  350 г раствора, насыщенного при  $40^{\circ}\text{C}$ ?

О т в е т.  $m(\text{осадка}) = 38 \text{ г.}$

**8.34.** При  $0^{\circ}\text{C}$  в 100 г воды растворяется 50,5 л хлороводорода, а при  $50^{\circ}\text{C}$  — 36,58 л (объемы измерены при н. у.). 280 г раствора, насыщенного при  $0^{\circ}\text{C}$ , нагрели до  $50^{\circ}\text{C}$ . Какова будет масса раствора после нагревания?

О т в е т.  $m(\text{р-ра}) = 245 \text{ г.}$

**8.35.** Растворимость соли в воде при  $30^{\circ}\text{C}$  равна 48 г на 100 г воды. При охлаждении 50 г раствора, насыщенного при  $30^{\circ}\text{C}$ , до  $10^{\circ}\text{C}$  в осадок выпало 5,8 г соли. Определите растворимость соли при  $10^{\circ}\text{C}$ .

О т в е т.  $S_{10^{\circ}\text{C}}(\text{соли}) = 30,8 \text{ г.}$

**8.36.** Молярная концентрация насыщенного раствора хлорида никеля (II) при  $50^{\circ}\text{C}$  равна 4,68 моль/л. При охлаждении 250 г этого раствора ( $\rho = 1,41 \text{ г/мл}$ ) до температуры  $25^{\circ}\text{C}$  в осадок выпадает 14,5 г соли. Какова растворимость хлорида никеля при  $25^{\circ}\text{C}$  (в г на 100 г  $\text{H}_2\text{O}$ )?

О т в е т.  $S_{25^{\circ}\text{C}}(\text{NiCl}_2) = 65,7 \text{ г.}$

**8.37.** Массовая доля соли в растворе, насыщенном при  $60^{\circ}\text{C}$ , равна 40%, а в растворе, насыщенном при  $20^{\circ}\text{C}$ , — 24%. Какая масса соли выпадет в осадок при охлаждении до  $20^{\circ}\text{C}$  150 г раствора, насыщенного при  $60^{\circ}\text{C}$ ?

О т в е т.  $m(\text{осадка}) = 31,6 \text{ г.}$

**8.38.** К 250 г раствора соли, насыщенного при  $20^{\circ}\text{C}$ , добавили еще 25 г той же соли. При повышении температуры до  $40^{\circ}\text{C}$  добавленная соль полностью растворилась, а массовая доля соли в полученном растворе равна 22%. Вычислите растворимость соли при  $20^{\circ}\text{C}$  (в г на 100 г  $\text{H}_2\text{O}$ ).

О т в е т.  $S_{20^{\circ}\text{C}}(\text{соли}) = 16,55 \text{ г.}$

**8.39.** При  $0^{\circ}\text{C}$  в 100 г воды растворяется 7,98 л (н. у.) оксида серы (IV), а при  $20^{\circ}\text{C}$  — 4,032 л (н. у.). 280 г раствора, насыщенного при  $0^{\circ}\text{C}$ , нагрели до  $20^{\circ}\text{C}$ . Вычислите массу раствора после нагревания.

О т в е т.  $m(\text{р-ра}) = 241 \text{ г}$ .

**8.40.** Молярная концентрация насыщенного раствора нитрата стронция при  $40^{\circ}\text{C}$  равна 3,02 моль/л ( $\rho = 1,35 \text{ г/мл}$ ), а при  $20^{\circ}\text{C}$  — 2,36 моль/л ( $\rho = 1,21 \text{ г/мл}$ ). Какая масса соли выпадет в осадок при охлаждении до  $20^{\circ}\text{C}$  400 г раствора, насыщенного при  $40^{\circ}\text{C}$ ?

О т в е т.  $m(\text{Sr}(\text{NO}_3)_2) = 41,5 \text{ г}$ .

**8.41.** В сосуд, содержащий 220 мл воды при температуре  $20^{\circ}\text{C}$ , поместили 200 г сульфата цинка. Затем сосуд нагрели до  $60^{\circ}\text{C}$ . На сколько граммов уменьшится при этом масса осадка, если растворимость сульфата цинка при  $20^{\circ}\text{C}$  составляет 54,1 г, а при  $60^{\circ}\text{C}$  — 74,8 г на 100 г воды? Какова масса соли, не растворившейся при  $60^{\circ}\text{C}$ ?

О т в е т.  $m(\text{ZnSO}_4) = 35,44 \text{ г}$ ,  $m(\text{ZnSO}_4)$  уменьшится на 45,54 г.

**8.42.** В 100 г воды растворили 14 г нитрата калия. В полученном растворе содержится  $0,69 \cdot 10^{23}$  катионов калия. Вычислите степень диссоциации нитрата калия и молярную концентрацию раствора, если его плотность равна 1,082 г/мл.

О т в е т.  $\alpha(\text{KNO}_3) = 83\%$ ,  $C(\text{KNO}_3) = 1,32 \text{ моль/л}$ .

**8.43.** Сколько граммов нитрата серебра надо растворить в воде для получения раствора, содержащего  $9,75 \cdot 10^{22}$  катионов серебра, если степень диссоциации нитрата серебра равна 81%?

О т в е т.  $m(\text{AgNO}_3) = 34 \text{ г}$ .

**8.44.** Массовая доля азотной кислоты в водном растворе равна 18%. Сколько анионов  $\text{NO}_3^-$  находится в 250 г такого раствора, если степень диссоциации азотной кислоты равна 92%?

О т в е т.  $N(\text{NO}_3^-) = 3,96 \cdot 10^{23}$ .

**8.45.** Какую массу 1 М раствора гидроксида натрия нужно взять, чтобы в данной порции раствора содержалось  $1,77 \cdot 10^{23}$  гидроксид-анионов? Плотность раствора равна 1,04 г/мл, а степень диссоциации гидроксида натрия — 84%.

О т в е т.  $m_{\text{р-ра}}(\text{NaOH}) = 364$  г.

**8.46.** Вычислите молярную концентрацию ионов  $\text{I}^-$  в 20%-ном растворе иодоводородной кислоты, если степень диссоциации  $\text{HI}$  равна 92%, а плотность раствора — 1,175 г/мл.

О т в е т.  $C(\text{I}^-) = 1,69$  моль/л.

**8.47.** Молярная концентрация катионов  $\text{Na}^+$  в растворе ацетата натрия равна 1,15 моль/л ( $\rho = 1,09$  г/мл). Какова степень диссоциации ацетата натрия, если данный раствор был приготовлен из 16,4 г соли и 133,6 г воды?

О т в е т.  $\alpha(\text{CH}_3\text{COONa}) = 79\%$ .

**8.48.** Массовая доля сульфата натрия в водном растворе равна 8%. Вычислите степень диссоциации соли, если молярная концентрация сульфат-ионов в данном растворе равна 0,414 моль/л, а плотность раствора — 1,072 г/мл.

О т в е т.  $\alpha(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 69\%$ .

**8.49.** Степень диссоциации серной кислоты по первой ступени — 58%, по второй ступени — 22%. Вычислите молярную концентрацию катионов и анионов в 400 г 12%-ного раствора, плотность которого равна 1,08 г/мл.

О т в е т.  $C(\text{H}^+) = 0,93$  моль/л,  $C(\text{SO}_4^{2-}) = 0,176$  моль/л,  $C(\text{HSO}_4^-) = 0,59$  моль/л.

**8.50.** В 800 г 1 М раствора хлорида цинка ( $\rho = 1,1$  г/мл) находится  $6,38 \cdot 10^{23}$  ионов хлора. Вычислите степень диссоциации хлорида цинка в данном растворе.

О т в е т.  $\alpha(\text{ZnCl}_2) = 73\%$ .

**8.51.** Растворимость сульфата никеля (II) в воде при 60 °С равна 56,9 г на 100 г воды. Какую массу кристаллогидрата, формула которого  $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , нужно растворить в 75 г воды для приготовления насыщенного при данной температуре раствора?

О т в е т.  $m(\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}) = 144,3$  г.

**8.52.** В 200 г воды при 80 °С растворили 100 г безводного сульфата меди (II). Какая масса медного купороса ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) выпадет в осадок при охлаждении полученного раствора до 25 °С, если растворимость сульфата меди (II) при этой температуре равна 22,3 г на 100 г воды?

О т в е т.  $m(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = 100$  г.

**8.53.** При охлаждении 500 г раствора сульфата натрия с молярной концентрацией 2,82 моль/л и плотностью 1,282 г/мл до 10 °С в осадок выпало 315,56 г кристаллогидрата  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ . Рассчитайте молярную концентрацию сульфата натрия в растворе при 10 °С, если плотность полученного раствора равна 1,075 г/мл.

О т в е т.  $C(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 0,7$  моль/л.

**8.54.** При охлаждении 300 г раствора нитрата магния, молярная концентрация которого 4,85 моль/л, а плотность — 1,37 г/мл, образовался раствор с молярной концентрацией 3,59 моль/л и плотностью 1,29 г/мл. Какая масса кристаллогидрата, формула которого  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , выпала при этом в осадок?

О т в е т.  $m(\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}) = 202,4$  г.

# Расчеты, связанные с положением металлов в электрохимическом ряду напряжений металлов

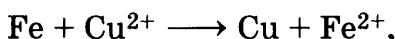
## ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Ряд стандартных электродных потенциалов (или электрохимический ряд напряжений) отражает восстановительную способность металлов, или активность металлов в реакциях, протекающих в растворах. Чем левее в этом ряду находится металл, тем более сильные восстановительные свойства он проявляет в окислительно-восстановительных реакциях. Поэтому каждый металл вытесняет (восстанавливает) из растворов солей все металлы, находящиеся левее него в ряду напряжений, а металлы, находящиеся в этом ряду правее водорода, вытесняют его из растворов кислот (кроме концентрированной серной кислоты и азотной кислоты любой концентрации).

Однако эти правила действуют только в тех случаях, если в результате реакции образуется растворимая соль, и не распространяются на щелочноземельные и щелочные металлы, которые активно взаимодействуют с водой и поэтому не реагируют с солью, находящейся в растворе.

Решая задачи, связанные с этим типом реакций, важно понимать, что реакции металлов с солями являются окислительно-восстановительными и протекают на поверхности металла, погруженного в раствор соли, а выделяющийся в результате реакции металл осаждается на данной поверхности. При этом происходит изменение массы образца металла, однако нужно помнить, что оно является результатом действия двух процессов: 1) уменьшения массы вследствие перехода части металла в раствор в результате его окисления; 2) увеличения массы за счет массы восстановленного металла, выделившегося на поверхности образца.

Например, если в раствор соли меди поместить железную пластинку:



то изменение ее массы будет происходить следующим образом:

$$m(\text{пластинки})_{\text{после р-ции}} = m(\text{пластинки})_{\text{до р-ции}} - m(\text{Fe}) + m(\text{Cu}),$$

где  $m(\text{Fe})$  — масса железа, вступившего в реакцию,  $m(\text{Cu})$  — масса меди, выделившейся в ходе реакции.

## СПОСОБЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

**9.1.** В раствор хлорида меди (II) поместили железную пластинку массой 40 г. Через некоторое время масса пластинки стала равна 41,6 г. Какая масса меди выделилась на пластинке?

Д а н о.	Р е ш е н и е.
$m_1(\text{пласт.}) = 40 \text{ г}$	1. Запишем уравнение реакции:
$m_2(\text{пласт.}) = 41,6 \text{ г}$	$\text{Fe} + \text{CuCl}_2 =$
$m(\text{Cu}) = ?$	$= \text{FeCl}_2 + \text{Cu}.$

2. Пусть количество вещества прореагировавшей меди равно  $x$  моль. Тогда масса выделившейся меди будет равна:

$$m(\text{Cu}) = \nu(\text{Cu}) \cdot M(\text{Cu}) = x \text{ моль} \cdot 64 \text{ г/моль} = 64x \text{ г}.$$

3. Согласно уравнению реакции:

$$\frac{\nu(\text{Cu})}{\nu(\text{Fe})} = \frac{1}{1}, \text{ или } \nu(\text{Cu}) = \nu(\text{Fe}) = x \text{ моль}.$$

Следовательно, масса железа, перешедшего в раствор, равна:

$$m(\text{Fe}) = \nu(\text{Fe}) \cdot M(\text{Fe}) = x \text{ моль} \cdot 56 \text{ г/моль} = 56x \text{ г}.$$

4. В результате происходящей реакции масса пластинки изменится следующим образом:

$$m_2(\text{пласт.}) = m_1(\text{пласт.}) - m(\text{Fe}) + m(\text{Cu}), \text{ или } 41,6 \text{ г} = 40 \text{ г} - 56x \text{ г} + 64x \text{ г}.$$

5. Решая уравнение, находим, что  $x = 0,2$  моль. Определим массу выделившейся меди:

$$m(\text{Cu}) = \nu(\text{Cu}) \cdot M(\text{Cu}) = 0,2 \text{ моль} \cdot 64 \text{ г/моль} = 12,8 \text{ г.}$$

О т в е т.  $m(\text{Cu}) = 12,8 \text{ г.}$

9.2. В 136 г 25% -ного раствора нитрата серебра поместили медную пластинку массой 15 г. Через некоторое время пластинку вынули из раствора, высушили и взвесили. Ее масса оказалась равной 22,6 г. Какова массовая доля нитрата серебра в растворе после реакции?

Д а н о.

$$m_{\text{р-ра}}(\text{AgNO}_3) = 136 \text{ г}$$

$$\omega_1(\text{AgNO}_3) = 25\%$$

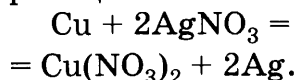
$$m_1(\text{пласт.}) = 15 \text{ г}$$

$$m_2(\text{пласт.}) = 22,6 \text{ г}$$

$$\omega_2(\text{AgNO}_3) = ?$$

Р е ш е н и е.

1. Запишем уравнение реакции:



2. Найдем массу нитрата серебра, содержащегося в исходном растворе:

$$m(\text{AgNO}_3)_{\text{исх}} = \frac{m_{\text{р-ра}}(\text{AgNO}_3) \cdot \omega(\text{AgNO}_3)}{100\%} = \frac{136 \text{ г} \cdot 25\%}{100\%} = 34 \text{ г.}$$

3. Пусть количество вещества меди, вступившей в реакцию с раствором  $\text{AgNO}_3$ , равно  $x$  моль. Тогда масса прореагировавшей меди составит:

$$m(\text{Cu}) = \nu(\text{Cu}) \cdot M(\text{Cu}) = x \text{ моль} \cdot 64 \text{ г/моль} = 64x \text{ г.}$$

4. Согласно уравнению реакции:

$$\frac{\nu(\text{Ag})}{\nu(\text{Cu})} = \frac{2}{1}, \text{ или } \nu(\text{Ag}) = \frac{\nu(\text{Cu}) \cdot 2}{1} = 2\nu(\text{Cu}) = 2x \text{ моль.}$$

Масса выделившегося серебра будет равна:

$$m(\text{Ag}) = \nu(\text{Ag}) \cdot M(\text{Ag}) = 2x \text{ моль} \cdot 108 \text{ г/моль} = 216x \text{ г.}$$

5. Масса пластинки изменится следующим образом:

$$m_2(\text{пласт.}) = m_1(\text{пласт.}) + m(\text{Ag}) - m(\text{Cu}), \text{ или } 22,6 \text{ г} = 15 \text{ г} + 216x \text{ г} - 64x \text{ г}.$$

Решая уравнение, находим, что  $x = \nu(\text{Cu}) = 0,05$  моль.

6. Найдем массу прореагировавшего нитрата серебра. Согласно уравнению реакции:

$$\frac{\nu(\text{AgNO}_3)_{\text{прореаг}}}{\nu(\text{Cu})} = \frac{2}{1}, \text{ следовательно,}$$

$$\nu(\text{AgNO}_3)_{\text{прореаг}} = \frac{\nu(\text{Cu}) \cdot 2}{1} = 0,05 \text{ моль} \cdot 2 = 0,1 \text{ моль};$$

$$m(\text{AgNO}_3)_{\text{прореаг}} = \nu(\text{AgNO}_3)_{\text{прореаг}} \cdot M(\text{AgNO}_3) = 0,1 \text{ моль} \cdot 170 \text{ г/моль} = 17 \text{ г}.$$

7. Найдем массу нитрата серебра, оставшегося в растворе:

$$m(\text{AgNO}_3)_{\text{ост}} = m(\text{AgNO}_3)_{\text{исх}} - m(\text{AgNO}_3)_{\text{прореаг}} = 34 \text{ г} - 17 \text{ г} = 17 \text{ г}.$$

8. Вычислим массу раствора после реакции. Для этого найдем массу, на которую увеличилась масса пластинки:

$$\Delta m = m_2(\text{пласт.}) - m_1(\text{пласт.}) = 22,6 \text{ г} - 15 \text{ г} = 7,6 \text{ г}.$$

Если масса пластинки увеличилась на 7,6 г, то, согласно закону сохранения массы веществ, масса раствора уменьшилась на такую же величину. Следовательно:

$$m_{\text{р-ра } 2}(\text{AgNO}_3) = m_{\text{р-ра } 1}(\text{AgNO}_3) - 7,6 \text{ г} = 136 \text{ г} - 7,6 \text{ г} = 128,4 \text{ г}.$$

9. Находим массовую долю нитрата серебра в растворе после реакции:

$$\omega_2(\text{AgNO}_3) = \frac{m_{\text{ост}}(\text{AgNO}_3)}{m_{\text{р-ра } 2}(\text{AgNO}_3)} \cdot 100\% = \frac{17 \text{ г}}{128,4 \text{ г}} \cdot 100\% = 13,2\%.$$

$$\text{О т в е т. } \omega_2(\text{AgNO}_3) = 13,2\%.$$



**9.3.** В раствор хлорида олова (II) массой 380 г внесли кусочек цинка. После реакции масса кусочка металла увеличилась на 5,4 г. Вычислите массовую долю хлорида цинка в растворе после реакции.

Д а н о.

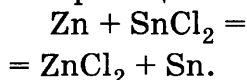
$$m_{\text{исх. р-ра}}(\text{SnCl}_2) = 380 \text{ г}$$

$$\Delta m = 5,4 \text{ г}$$

$$\omega(\text{ZnCl}_2) = ?$$

Р е ш е н и е.

1. Запишем уравнение реакции:



2. Пусть количество вещества вступившего в реакцию цинка будет  $x$  моль. Тогда его масса будет равна:

$$m(\text{Zn}) = \nu(\text{Zn}) \cdot M(\text{Zn}) = x \text{ моль} \cdot 65 \text{ г/моль} = 65x \text{ г}.$$

3. В соответствии с уравнением реакции:

$$\frac{\nu(\text{Sn})}{\nu(\text{Zn})} = \frac{1}{1}, \text{ следовательно,}$$

$$\nu(\text{Sn}) = \nu(\text{Zn}) = x \text{ моль}.$$

Масса выделившегося олова будет равна:

$$m(\text{Sn}) = \nu(\text{Sn}) \cdot M(\text{Sn}) = x \text{ моль} \cdot 119 \text{ г/моль} = 119x \text{ г}.$$

4. Обозначим исходную массу кусочка цинка  $m_0$ . Тогда, согласно условию задачи, масса металла изменится следующим образом:

$$m_0 + m(\text{Sn}) - m(\text{Zn}) = m_0 + 5,4 \text{ г}.$$

Подставив полученные выражения и известные величины в данное уравнение, получим:

$$m_0 + 119x - 65x = m_0 + 5,4 \text{ г, или } 119x - 65x = 5,4 \text{ г}.$$

Решая уравнение, найдем неизвестную величину:  $x = 0,1$  моль.

5. По уравнению реакции определим количество вещества и массу образовавшегося хлорида цинка:

$$\frac{\nu(\text{ZnCl}_2)}{\nu(\text{Zn})} = \frac{1}{1}, \text{ следовательно,}$$

$$\nu(\text{ZnCl}_2) = \nu(\text{Zn}) = 0,1 \text{ моль}.$$

$$m(\text{ZnCl}_2) = \nu(\text{ZnCl}_2) \cdot M(\text{ZnCl}_2) = 0,1 \text{ моль} \cdot 136 \text{ г/моль} = 13,6 \text{ г}.$$

6. По условию задачи масса кусочка цинка увеличилась на 5,4 г. Согласно закону сохранения массы веществ, масса раствора уменьшилась на такую же величину. Следовательно:

$$m_{\text{кон. р-ра}} = m_{\text{исх. р-ра}} - 5,4 \text{ г} = 380 \text{ г} - 5,4 \text{ г} = 374,6 \text{ г}.$$

7. Найдем массовую долю хлорида цинка в растворе:

$$\omega(\text{ZnCl}_2) = \frac{m(\text{ZnCl}_2)}{m_{\text{кон. р-ра}}} \cdot 100\% = \frac{13,6 \text{ г}}{374,6 \text{ г}} \cdot 100\% = 3,6\%.$$

О т в е т.  $\omega(\text{ZnCl}_2) = 3,6\%$

9.4. В раствор хлорида кобальта (II) массой 380 г с массовой долей соли 40% поместили кусочек неизвестного металла (М). Через некоторое время кусочек металла вынули из раствора, высушили и взвесили, его масса увеличилась на 14 г. Массовая доля хлорида кобальта в растворе после реакции стала равной 8,75%. Определите неизвестный металл, если известно, что в образовавшемся хлориде он имеет степень окисления +2.

Д а н о.

$$m_{\text{р-ра 1}}(\text{CoCl}_2) =$$

$$= 162,5 \text{ г}$$

$$\omega_1(\text{CoCl}_2) = 40\%$$

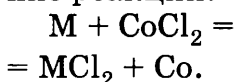
$$\omega_2(\text{CoCl}_2) = 8,75\%$$

$$\Delta m(\text{М}) = 14 \text{ г}$$

М — ?

Р е ш е н и е.

1. Запишем уравнение реакции:



2. Вычислим массу и количество вещества хлорида кобальта в исходном растворе:

$$m_1(\text{CoCl}_2) = \frac{m_{\text{р-ра 1}}(\text{CoCl}_2) \cdot \omega(\text{CoCl}_2)}{100\%} = \frac{162,5 \text{ г} \cdot 40\%}{100\%} = 65 \text{ г},$$

$$\nu_1(\text{CoCl}_2) = \frac{m_1(\text{CoCl}_2)}{M(\text{CoCl}_2)} = \frac{65 \text{ г}}{130 \text{ г/моль}} = 0,5 \text{ моль}.$$

3. Найдем массу раствора по окончании реакции. Масса металла увеличилась на 14 г, поэтому на столько же в соответствии с законом сохранения массы веществ уменьшилась масса раствора:

$$m_{\text{р-ра } 2}(\text{CoCl}_2) = m_{\text{р-ра } 1}(\text{CoCl}_2) - 14 \text{ г} = 162,5 \text{ г} - 14 \text{ г} = 148,5 \text{ г}.$$

4. Вычислим массу и количество вещества хлорида кобальта (II) по окончании реакции:

$$\begin{aligned} m_2(\text{CoCl}_2) &= \frac{m_{\text{р-ра } 2}(\text{CoCl}_2) \cdot \omega_2(\text{CoCl}_2)}{100\%} = \\ &= \frac{148,5 \text{ г} \cdot 8,75\%}{100\%} = 13 \text{ г}, \\ v_2(\text{CoCl}_2) &= \frac{m_2(\text{CoCl}_2)}{M(\text{CoCl}_2)} = \frac{13 \text{ г}}{130 \text{ г/моль}} = 0,1 \text{ моль}. \end{aligned}$$

5. Найдем массу и количество вещества хлорида кобальта (II), вступившего в реакцию с неизвестным металлом:

$$v(\text{CoCl}_2) = v_1(\text{CoCl}_2) - v_2(\text{CoCl}_2) = 0,5 \text{ моль} - 0,1 \text{ моль} = 0,4 \text{ моль}.$$

6. Найдем массу кобальта, выделившегося в результате реакции:

$$m(\text{Co}) = v(\text{Co}) \cdot M(\text{Co}) = 0,4 \text{ моль} \cdot 59 \text{ г/моль} = 23,6 \text{ г}.$$

7. По условию задачи масса образца металла увеличилась на 14 г. Это является результатом двух процессов: растворения неизвестного металла и осаждения кобальта на поверхности образца. Таким образом, получим выражение:

$$\begin{aligned} m_{\text{исх}} - m(\text{M}) + m(\text{Co}) &= m_{\text{исх}} + 14 \text{ г}, \text{ или} \\ m(\text{Co}) - m(\text{M}) &= 14 \text{ г}. \end{aligned}$$

Зная массу выделившегося кобальта, найдем массу прореагировавшего металла:

$$m(\text{M}) = m(\text{Co}) - 14 \text{ г} = 23,6 \text{ г} - 14 \text{ г} = 9,6 \text{ г}.$$

8. Зная количество вещества прореагировавшего металла, вычислим его молярную массу:

$$M(M) = \frac{m(M)}{\nu(M)} = \frac{9,6 \text{ г}}{0,4 \text{ моль}} = 24 \text{ г/моль.}$$

9. По Периодической системе Д. И. Менделеева определим, что металл — магний.

О т в е т. Mg.

**9.5.** Кусочек марганца поместили в 257,4 г раствора хлорида неизвестного металла (M), проявляющего в соединениях степень окисления +2. По окончании реакции масса образца металла увеличилась на 5,4 г, а массовая доля хлорида марганца (II) в растворе составила 30%. Определите неизвестный металл.

Д а н о.

$$m_{\text{р-ра}}(\text{MCl}_2) = 257,4 \text{ г}$$

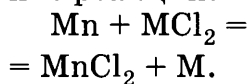
$$\omega(\text{MnCl}_2) = 30\%$$

$$\Delta m(\text{MnCl}_2) = 14 \text{ г}$$

М — ?

Р е ш е н и е.

1. Запишем уравнение реакции:



2. Вычислим массу раствора по окончании реакции. Согласно закону сохранения массы веществ, увеличение массы образца металла на 5,4 г приведет к уменьшению массы раствора на такую же величину. Следовательно:

$$m_{\text{р-ра}}(\text{MnCl}_2) = m_{\text{р-ра}}(\text{MnCl}_2) - 5,4 \text{ г} = 257,4 \text{ г} - 5,4 \text{ г} = 252 \text{ г.}$$

3. Зная массовую долю хлорида марганца (II) в растворе, найдем его массу и количество вещества:

$$m(\text{MnCl}_2) = \frac{m_{\text{р-ра}}(\text{MnCl}_2) \cdot \omega(\text{MnCl}_2)}{100\%} = \frac{252 \text{ г} \cdot 30\%}{100\%} = 75,6 \text{ г,}$$

$$\nu(\text{MnCl}_2) = \frac{m_1(\text{MnCl}_2)}{M(\text{MnCl}_2)} = \frac{75,6 \text{ г}}{126 \text{ г/моль}} = 0,6 \text{ моль.}$$

4. В соответствии с уравнением реакции:

$$\nu(\text{MnCl}_2) = \nu(\text{Mn}) = \nu(\text{M}) = 0,6 \text{ моль.}$$

5. Учитывая, что изменение массы образца металла происходит за счет растворения части марганца и осаждения на образце неизвестного металла, получим:

$$m_0(\text{Mn}) - m(\text{Mn}) + m(\text{M}) = m_0(\text{Mn}) + 5,4 \text{ г, или}$$

$$m(\text{M}) - m(\text{Mn}) = 5,4 \text{ г.}$$

6. Найдем массу прореагировавшего марганца и массу выделившегося неизвестного металла:

$$m(\text{Mn}) = \nu(\text{Mn}) \cdot M(\text{Mn}) = 0,6 \text{ моль} \cdot 55 \text{ г/моль} = 33 \text{ г;}$$

$$m(\text{M}) = 5,4 \text{ г} + m(\text{Mn}) = 5,4 \text{ г} + 33 \text{ г} = 38,4 \text{ г.}$$

7. Зная количество вещества прореагировавшего металла, найдем его молярную массу:

$$M(\text{M}) = \frac{m(\text{M})}{\nu(\text{M})} = \frac{38,4 \text{ г}}{0,6 \text{ моль}} = 64 \text{ г/моль.}$$

По Периодической системе Д. И. Менделеева определим, что неизвестный металл — медь.

О т в е т. Cu.

**9.6.** В 150 г 9,6% -ного раствора сульфата меди (II) поместили оловянную пластинку массой 13,1 г. Найдите массу пластинки по окончании реакции.

Д а н о.

$$m(\text{Sn}) = 13,1 \text{ г}$$

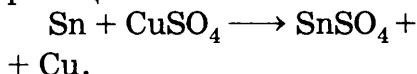
$$m_{\text{р-ра}}(\text{CuSO}_4) = 150 \text{ г}$$

$$\omega(\text{CuSO}_4) = 9,6\%$$

$$m(\text{пласт.}) = ?$$

Р е ш е н и е.

1. Запишем уравнение реакции:



2. Найдем массу  $\text{CuSO}_4$ , содержащегося в растворе:

$$m(\text{CuSO}_4) = \frac{m_{\text{р-ра}}(\text{CuSO}_4) \cdot \omega(\text{CuSO}_4)}{100\%} =$$

$$= \frac{150 \text{ г} \cdot 9,6\%}{100\%} = 14,4 \text{ г.}$$

3. Вычислим исходные количества веществ сульфата меди (II) и олова:

$$\nu(\text{CuSO}_4) = \frac{m(\text{CuSO}_4)}{M(\text{CuSO}_4)} = \frac{14,4 \text{ г}}{160 \text{ г/моль}} = 0,09 \text{ моль;}$$

$$\nu(\text{Sn}) = \frac{m(\text{Sn})}{M(\text{Sn})} = \frac{13,1 \text{ г}}{119 \text{ г/моль}} = 0,11 \text{ моль.}$$

4. Определим, какое из веществ находится в избытке.

По уравнению реакции:  $\nu(\text{Sn}) = \nu(\text{CuSO}_4)$ , а по условию задачи  $\nu(\text{Sn}) > \nu(\text{CuSO}_4)$ .

Делаем вывод, что олово — в избытке,  $\text{CuSO}_4$  — в недостатке. Дальнейшие расчеты ведем по количеству вещества сульфата меди (II).

5. Найдем массы растворившегося олова и выделившейся меди:

$$\nu(\text{CuSO}_4) = \nu(\text{Cu}) = \nu(\text{Sn})_{\text{р-шегося}} = 0,09 \text{ моль};$$

$$m(\text{Cu}) = \nu(\text{Cu}) \cdot M(\text{Cu}) = 0,09 \text{ моль} \cdot 64 \text{ г/моль} = 5,76 \text{ г};$$

$$m(\text{Sn})_{\text{р-шегося}} = \nu(\text{Sn})_{\text{р-шегося}} \cdot M(\text{Sn}) = 0,09 \text{ моль} \cdot 119 \text{ г/моль} = 10,71 \text{ г}.$$

6. Вычислим массу пластинки по окончании реакции:

$$m(\text{пласт.}) = m(\text{Sn}) - m(\text{Sn})_{\text{р-шегося}} + m(\text{Cu}) = 13,1 \text{ г} - 10,71 \text{ г} + 5,76 \text{ г} = 8,15 \text{ г}.$$

О т в е т.  $m(\text{пласт.}) = 8,15 \text{ г}.$

9.7. В раствор нитрата серебра внесли никелевую пластинку массой 25 г. Через некоторое время пластинку вынули из раствора и высушили, ее масса стала равна 48,55 г. Вычислите массовую долю Ni (в %) в пластинке по окончании реакции.

Д а н о.

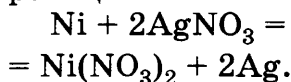
$$m_1(\text{пласт.}) = 25 \text{ г}$$

$$m_2(\text{пласт.}) = 48,55 \text{ г}$$

$$\omega(\text{Ni}) = ?$$

Р е ш е н и е.

1. Запишем уравнение реакции:



2. Пусть количество вещества прореагировавшего никеля будет  $x$  моль, тогда количество вещества выделившегося серебра будет  $2x$  моль. Массы никеля и серебра будут соответственно равны:

$$m(\text{Ni}) = \nu(\text{Ni}) \cdot M(\text{Ni}) = x \text{ моль} \cdot 59 \text{ г/моль} = 59x \text{ г};$$

$$m(\text{Ag}) = \nu(\text{Ag}) \cdot M(\text{Ag}) = 2x \text{ моль} \cdot 108 \text{ г/моль} = 216x \text{ г}.$$

3. Учитывая, что изменение массы пластинки происходит за счет растворения никеля и выделения на поверхности пластинки серебра, составим следующее уравнение:

$$m_1(\text{пласт.}) + m(\text{Ag}) - m(\text{Ni}) = m_2(\text{пласт.}), \text{ или } 25 \text{ г} + 216x \text{ г} - 59x \text{ г} = 48,55 \text{ г}.$$

Решая уравнение, найдем:  $x = 0,15$  моль.

4. Вычислим массу растворившегося и оставшегося никеля:

$$m(\text{Ni})_{\text{р-шегося}} = v(\text{Ni})_{\text{р-шегося}} \cdot M(\text{Ni}) = 0,15 \text{ моль} \cdot 59 \text{ г/моль} = 8,85 \text{ г};$$

$$m(\text{Ni})_{\text{ост}} = m(\text{Ni})_{\text{исх}} - m(\text{Ni})_{\text{раст}} = 25 \text{ г} - 8,85 \text{ г} = 16,15 \text{ г}.$$

5. Найдем массовую долю никеля в пластинке по окончании реакции:

$$\omega(\text{Ni}) = \frac{m(\text{Ni})_{\text{ост}}}{m_2(\text{пласт.})} \cdot 100\% = \frac{16,5 \text{ г}}{48,55} \cdot 100\% = 33,26\%.$$

О т в е т.  $\omega(\text{Ni}) = 33,26\%$ .

**9.8.** В раствор нитрата свинца (II) массой 150 г с массовой долей растворенного вещества 20% поместили железную пластинку массой 20 г. Пластинку вынули из раствора, когда массовая доля нитрата свинца (II) в растворе стала равной 5%. Найдите массу пластинки после реакции.

Д а н о.

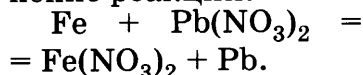
$$\begin{aligned} m_1(\text{пласт.}) &= 20 \text{ г} \\ m_{1\text{р-ра}}(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2) &= 150 \text{ г} \\ \omega_1(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2) &= 20\% \\ \omega_2(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2) &= 5\% \end{aligned}$$

---


$$m_2(\text{пласт.}) = ?$$

Р е ш е н и е.

1. Запишем уравнение реакции:



2. Найдем массу нитрата свинца (II) в исходном растворе:

$$\begin{aligned} m_1(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2) &= \frac{m_{1\text{р-ра}}(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2) \cdot \omega(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2)}{100\%} = \\ &= \frac{150 \text{ г} \cdot 20\%}{100\%} = 30 \text{ г}. \end{aligned}$$

3. Примем количество вещества прореагировавшего железа равным  $x$  моль, тогда в соответствии с уравнением реакции:

$$\nu(\text{Fe}) = \nu(\text{Pb}) = \nu(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2)_{\text{прореаг}} = x \text{ моль.}$$

4. Выразим массы веществ, участвующих в реакции:

$$m(\text{Fe}) = \nu(\text{Fe}) \cdot M(\text{Fe}) = x \text{ моль} \cdot 56 \text{ г/моль} = 56x \text{ г};$$

$$m(\text{Pb}) = \nu(\text{Pb}) \cdot M(\text{Pb}) = x \text{ моль} \cdot 207 \text{ г/моль} = 207x \text{ г};$$

$$m(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2)_{\text{прореаг}} = \nu(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2)_{\text{прореаг}} \times \\ \times M(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2) = x \text{ моль} \cdot 331 \text{ г/моль} = 331x \text{ г.}$$

5. По окончании реакции масса оставшегося нитрата свинца (II) будет равна:

$$m_{\text{ост}}(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2) = m_{\text{исх}}(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2) - \\ - m(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2)_{\text{прореаг}} = 30 \text{ г} - 331x \text{ г.}$$

6. В результате реакции изменится масса раствора. Некоторое количество железа перейдет из пластинки в раствор, и наоборот, некоторое количество свинца перейдет из раствора на пластинку:

$$m_{\text{р-ра } 2}(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2) = m_{\text{р-ра } 1}(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2) + m(\text{Fe}) - \\ - m(\text{Pb}) = 150 \text{ г} + 56x \text{ г} - 207x \text{ г} = 150 \text{ г} - 151x \text{ г.}$$

7. Зная, что, согласно условию задачи, массовая доля  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  в растворе после окончания реакции равна 5%, мы можем составить уравнение:

$$\omega_2(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2) = \frac{m_{\text{ост}}(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2)}{m_{\text{р-ра } 2}(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2)} \cdot 100\% = \\ = \frac{30 \text{ г} - 331x \text{ г}}{150 \text{ г} - 151x \text{ г}} \cdot 100\% = 5\%, \text{ или } \frac{30 \text{ г} - 331x \text{ г}}{150 \text{ г} - 151x \text{ г}} = 0,05.$$

Решая уравнение, получим:  $x = 0,07$  моль.

8. Вычислим массы перешедшего в раствор железа и выделившегося на пластине свинца:

$$m(\text{Fe}) = \nu(\text{Fe}) \cdot M(\text{Fe}) = 0,07 \text{ моль} \cdot 56 \text{ г/моль} = 3,92 \text{ г};$$

$$m(\text{Pb}) = \nu(\text{Pb}) \cdot M(\text{Pb}) = 0,07 \text{ моль} \cdot 207 \text{ г/моль} = 14,49 \text{ г.}$$



9. Вычислим массу пластинки после реакции, учитывая, что она уменьшилась за счет железа, перешедшего в раствор, и увеличилась за счет свинца, перешедшего из раствора на пластину:

$$m_2(\text{пласт.}) = m_1(\text{пласт.}) - m(\text{Fe}) + m(\text{Pb}) = 20 \text{ г} - 3,92 \text{ г} + 14,49 \text{ г} = 30,57 \text{ г}.$$

О т в е т.  $m_2(\text{пласт.}) = 30,57 \text{ г}.$

9.9. В 300 г раствора, содержащего нитрат железа (II) (массовая доля соли 6%) и хлорид меди (II) (массовая доля соли 9%), поместили опилки магния, масса которых равна 6 г. Определите массу металлического осадка по окончании реакции.

Д а н о.

$$m_{\text{р-ра}} = 300 \text{ г}$$

$$\omega(\text{Fe}(\text{NO}_3)_2) = 6\%$$

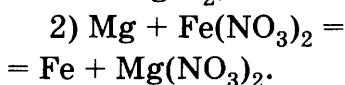
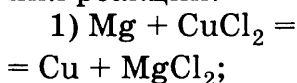
$$\omega(\text{CuCl}_2) = 9\%$$

$$m(\text{Mg}) = 6 \text{ г}$$

$$m(\text{осадка}) = ?$$

Р е ш е н и е.

1. Запишем уравнения реакций:



2. Вычислим массы и количества веществ солей, содержащихся в растворе, а также количество вещества внесенного в раствор магния:

$$m(\text{CuCl}_2) = \frac{m_{\text{р-ра}} \cdot \omega(\text{CuCl}_2)}{100\%} = \frac{300 \text{ г} \cdot 9\%}{100\%} = 27 \text{ г};$$

$$\begin{aligned} m(\text{Fe}(\text{NO}_3)_2) &= \frac{m_{\text{р-ра}} \cdot \omega(\text{Fe}(\text{NO}_3)_2)}{100\%} = \frac{300 \text{ г} \cdot 6\%}{100\%} = \\ &= 18 \text{ г}; \end{aligned}$$

$$\nu(\text{CuCl}_2) = \frac{m(\text{CuCl}_2)}{M(\text{CuCl}_2)} = \frac{27 \text{ г}}{135 \text{ г/моль}} = 0,2 \text{ моль};$$

$$\begin{aligned} \nu(\text{Fe}(\text{NO}_3)_2) &= \frac{m(\text{Fe}(\text{NO}_3)_2)}{M(\text{Fe}(\text{NO}_3)_2)} = \frac{18 \text{ г}}{180 \text{ г/моль}} = \\ &= 0,1 \text{ моль}; \end{aligned}$$

$$\nu(\text{Mg}) = \frac{m(\text{Mg})}{M(\text{Mg})} = \frac{6 \text{ г}}{24 \text{ г/моль}} = 0,25 \text{ моль}.$$

3. Сравнивая количество вещества магния с количеством вещества солей, находящихся в растворе, увидим, что количество вещества магния меньше общего количества вещества растворенных солей. С учетом того, что, согласно уравнениям приведенных выше реакций, количество вещества магния равно количеству вещества реагирующей с ним соли, можно сделать вывод, что магний прореагирует полностью, а одна из солей окажется в избытке. Так как медь в ряду стандартных электродных потенциалов располагается правее железа, катионы меди  $\text{Cu}^{2+}$  восстанавливаются легче, чем катионы железа  $\text{Fe}^{2+}$ . Таким образом, прежде всего с магнием будет реагировать хлорид меди (II), он прореагирует полностью, а нитрат железа (II) окажется в избытке.

4. Найдем количество вещества магния, прореагировавшего с хлоридом меди (II), а также количество вещества и массу выделившейся при этом меди:

$$\frac{v_1(\text{Mg})}{v(\text{CuCl}_2)} = \frac{1}{1}, \text{ следовательно,}$$

$$v_1(\text{Mg}) = v(\text{CuCl}_2) = 0,2 \text{ моль.}$$

$$\frac{v_1(\text{Cu})}{v(\text{CuCl}_2)} = \frac{1}{1}, \text{ следовательно,}$$

$$v(\text{Cu}) = v(\text{CuCl}_2) = 0,2 \text{ моль;}$$

$$m(\text{Cu}) = v(\text{Cu}) \cdot M(\text{Cu}) = 0,2 \text{ моль} \cdot 64 \text{ г/моль} = 12,8 \text{ г.}$$

5. Найдем количество вещества магния, вступившего в реакцию с нитратом железа (II):

$$v_2(\text{Mg}) = v(\text{Mg}) - v_1(\text{Mg}) = 0,25 \text{ моль} - 0,2 \text{ моль} = 0,05 \text{ моль.}$$

6. Найдем количество вещества нитрата железа (II), прореагировавшего с магнием, и количе-

ство вещества и массу образовавшегося при этом железа:

$$\frac{\nu_{\text{прореаг}}(\text{Fe}(\text{NO}_3)_2)}{\nu_2(\text{Mg})} = \frac{1}{1}, \text{ следовательно,}$$

$$\nu_{\text{прореаг}}(\text{Fe}(\text{NO}_3)_2) = \nu(\text{Mg}) = 0,05 \text{ моль.}$$

$$\frac{\nu(\text{Fe})}{\nu_{\text{прореаг}}(\text{Fe}(\text{NO}_3)_2)} = \frac{1}{1}, \text{ следовательно,}$$

$$\nu(\text{Fe}) = \nu_{\text{прореаг}}(\text{Fe}(\text{NO}_3)_2) = 0,05 \text{ моль;}$$

$$m(\text{Fe}) = \nu(\text{Fe}) \cdot M(\text{Fe}) = 0,05 \text{ моль} \cdot 56 \text{ г/моль} = 2,8 \text{ г.}$$

7. Найдем массу металлического осадка, который будет состоять из выделившихся в результате реакции меди и железа:

$$m(\text{осадка}) = m(\text{Cu}) + m(\text{Fe}) = 12,8 \text{ г} + 2,8 \text{ г} = 15,6 \text{ г.}$$

О т в е т.  $m(\text{осадка}) = 15,6 \text{ г.}$

### ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

**9.10.** В раствор сульфата олова (II) поместили железную пластинку массой 15 г. Через некоторое время масса пластинки стала равной 18,15 г. Определите массу железа, перешедшего в раствор.

О т в е т.  $m(\text{Fe}) = 2,8 \text{ г.}$

**9.11.** В раствор нитрата серебра поместили пластинку из марганца. Через некоторое время пластинку вынули, высушили и взвесили. Оказалось, что ее масса увеличилась на 64,4 г. Найдите массу выделившегося серебра.

О т в е т.  $m(\text{Ag}) = 86,4 \text{ г.}$

**9.12.** В раствор сульфата железа (II) поместили пластинку из магния массой 40 г. Через некоторое время пластинку взвесили, и ее масса оказалась равной 46,4 г. Определите массовые доли металлов (в %) в пластинке по окончании реакции.

О т в е т.  $\omega(\text{Mg}) = 75,86\%$ ,  $\omega(\text{Fe}) = 24,14\%$ .

**9.13.** Кусочек цинка массой 25 г внесли в раствор нитрата кадмия (II) массой 75 г. Через некоторое время кусочек металла вынули из раствора, его масса оказалась равной 28,76 г. Какова массовая доля нитрата цинка в растворе после реакции?

О т в е т.  $\omega(\text{Zn}(\text{NO}_3)_2) = 21,2\%$ .

**9.14.** Оловянную пластинку поместили в раствор хлорида меди (II) массой 104,5 г с массовой долей соли 32,3%. Через некоторое время пластинку вынули из раствора, ее масса уменьшилась на 5,5 г. Вычислите массовую долю хлорида меди (II) в растворе по окончании реакции.

О т в е т.  $\omega(\text{CuCl}_2) = 18,41\%$ .

**9.15.** Железную пластинку массой 30 г выдерживали в растворе сульфата меди (II) массой 240 г с массовой долей растворенного вещества 20% до полного завершения реакции. Какова стала масса пластинки после реакции?

О т в е т.  $m(\text{пласт.}) = 32,4 \text{ г}$ .

**9.16.** В раствор нитрата серебра объемом 250 мл с молярной концентрацией растворенного вещества 2 моль/л ( $\rho$  — 1,25 г/мл) поместили деталь из меди и выдерживали до тех пор, пока масса детали не увеличилась на 22,8 г. Найдите массовую долю нитрата серебра в растворе по окончании реакции.

О т в е т.  $\omega(\text{AgNO}_3) = 11,7\%$ .

**9.17.** Пластинку из магния массой 25 г поместили в раствор хлорида меди (II). Через некоторое время масса пластинки стала равной 41 г и образовался раствор массой 180 г с массовой долей хлорида меди (II) 15%. Вычислите массовую долю хлорида меди (II) в исходном растворе.

О т в е т.  $\omega(\text{CuCl}_2) = 41,3\%$ .

**9.18.** В раствор сульфата меди (II) массой 400 г с массовой долей соли 20% поместили пластинку из магния массой 20 г. Пластинку вынули из раствора, когда ее масса стала равной 32 г. К оставшемуся раствору прилили избыток раствора гидроксида натрия. Вычислите массу образовавшегося осадка.

О т в е т.  $m(\text{осадка}) = 37 \text{ г}$ .

**9.19.** В раствор хлорида меди (II) массой 720 г с массовой долей соли 15% внесли кусочек цинка. Через некоторое время кусочек металла вынули из раствора, его масса уменьшилась на 0,6 г. Оставшийся после реакции раствор обработали избытком раствора гидроксида калия. Выпавший осадок отделили и прокалили. Определите массу вещества, образовавшегося после прокаливании.

О т в е т.  $m(\text{в-ва}) = 16 \text{ г}$ .

**9.20.** В раствор сульфата меди (II) массой 320 г с массовой долей растворенного вещества 30% поместили пластинку неизвестного металла массой 25 г. Через некоторое время масса пластинки стала равной 26,35 г, а массовая доля сульфата меди (II) в растворе — 22,59%. Определите неизвестный металл, если известно, что в образовавшемся сульфате он имеет степень окисления +2.

О т в е т. Mn.

**9.21.** В раствор нитрата серебра массой 200 г с массовой долей соли 17% поместили кусочек неизвестного металла, который проявляет в соединениях степень окисления +2. Когда кусочек вынули из раствора, его масса увеличилась на 6,08 г, а массовая доля нитрата серебра в растворе уменьшилась на 6,48%. Определите неизвестный металл.

О т в е т. Cu.

**9.22.** Пластинку из неизвестного металла поместили в 165,5 г 7%-ного раствора нитрата свинца (II). Когда пластинку вынули из раствора, ока-

залось, что ее масса увеличилась на 8,52 г. При добавлении к оставшемуся раствору избытка серной кислоты выпало 27,27 г осадка. Определите неизвестный металл, учитывая, что его сульфат растворим.

О т в е т. Zn.

**9.23.** В 180 г раствора сульфата неизвестного металла, имеющего степень окисления +2, поместили кусочек магния массой 30 г. Через некоторое время масса кусочка металла стала равной 42,8 г, а массовая доля сульфата магния в растворе — 28,71%. Найдите неизвестный металл.

О т в е т. Fe.

**9.24.** Цинковую пластинку поместили в раствор нитрата неизвестного металла, имеющего степень окисления +2. Масса исходного раствора была равна 177 г. Через некоторое время масса пластинки увеличилась на 9,4 г, а массовая доля нитрата цинка в растворе составила 22,55%. Определите неизвестный металл.

О т в е т. Cd.

**9.25.** В раствор нитрата серебра массой 340 г с массовой долей соли 12,5% поместили кусочек меди массой 22 г. Найдите массу металла, извлеченного из раствора по окончании реакции.

О т в е т.  $m(\text{металла}) = 41$  г.

**9.26.** В раствор нитрата цинка поместили магниевые стружки. Через некоторое время металл извлекли из раствора, его масса увеличилась на 12,3 г. В оставшийся раствор добавили избыток гидроксида натрия, при этом выпал осадок. Найдите массу выпавшего осадка.

О т в е т.  $m(\text{осадка}) = 17,4$  г.

**9.27.** Никелевую пластинку массой 29,5 г внесли в раствор хлорида меди (II). Через некоторое время пластинку извлекли из раствора и взвеси-

ли, масса пластинки оказалась равной 31 г. Вычислите массовую долю никеля в пластинке после реакции.

О т в е т.  $\omega(\text{Ni}) = 38,06\%$ .

**9.28.** В раствор сульфата олова (II) массой 172 г внесли кусочек железа массой 15 г. Через некоторое время массовая доля сульфата олова уменьшилась от 25 до 5,3%. Вычислите массу кусочка металла по окончании реакции.

О т в е т.  $m(\text{пласт.}) = 25,08$  г.

**9.29.** В раствор нитрата ртути (I) массой 131,5 г, массовая доля соли в котором равна 28%, поместили медную пластинку массой 8 г. Через некоторое время металл отделили от раствора, причем массовая доля исходной соли в растворе оказалась равной 9,7%. На сколько граммов увеличилась масса медной пластинки?

О т в е т. Масса пластинки увеличилась на 16,5 г.

**9.30.** К 150 г раствора, содержащего нитраты магния (массовая доля 4,9%), железа (II) (массовая доля 19,2%) и свинца (II) (массовая доля 22%), добавили 19,5 г порошка цинка. Какие металлы будут выделены из раствора по окончании реакции и какова будет их масса?

О т в е т.  $m(\text{Pb}) = 20,7$  г;  $m(\text{Fe}) = 8,96$  г;  $m(\text{Zn}) = 2,6$  г.

**9.31.** В 200 г раствора, содержащего нитрат меди (II) (массовая доля 14,1%) и нитрат серебра (массовая доля 25,5%), поместили 6 г магниевых опилок. По окончании реакции осадок металла отфильтровали. Какие соли будут находиться в фильтрате? Определите их массовые доли.

О т в е т.  $\omega(\text{Mg}(\text{NO}_3)_2) = 22,13\%$ ;  $\omega(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2) = 5,62\%$ .

## Приложение 1

### ЗАДАЧИ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ПО ТЕМЕ «ВОДОРОД»

**10.1.** Имеется 5 л молекулярного водорода и 5 л аммиака (н. у.). Какой из газов содержит большее число атомов водорода?

О т в е т. Аммиак.

**10.2.** Порция водорода имеет массу, равную массе 33,6 л гелия (н. у.). Сколько молекул водорода содержится в данном образце?

О т в е т.  $N(\text{H}_2) = 1,806 \cdot 10^{24}$ .

**10.3.** Какой объем водорода (н. у.) можно получить при взаимодействии 32,5 г цинка с избытком соляной кислоты?

О т в е т.  $V(\text{H}_2) = 11,2$  л.

**10.4.** Вычислите объем водорода (н. у.), который можно получить при взаимодействии 14 г железа с 245 г 8% -ного раствора серной кислоты.

О т в е т.  $V(\text{H}_2) = 4,48$  л.

**10.5.** 21,6 г алюминия обработали 354 мл 12% -ного раствора гидроксида натрия ( $\rho = 1,13$  г/мл). Какой объем водорода (н. у.) получен при этом?

О т в е т:  $V(\text{H}_2) = 26,88$  л.

**10.6.** Найдите объем водорода (н. у.), который образуется при взаимодействии избытка водяного пара с 600 кг раскаленного угля, если выход продукта реакции составляет 80%.

О т в е т:  $V(\text{H}_2) = 896$  м<sup>3</sup>.



**10.7.** 14 г металла, проявляющего в соединениях степень окисления +2, прореагировало при нагревании с избытком водорода. При этом образовалось 14,7 г гидрида металла. Назовите неизвестный металл.

О т в е т. Кальций.

**10.8.** Смесь водорода и кислорода общим объемом 15,68 л поместили в реактор и взорвали. После реакции остался непрореагировавший водород объемом 5,6 л. Найдите объемную долю водорода в исходной смеси. Все объемы приведены к нормальным условиям.

О т в е т.  $\varphi(\text{H}_2) = 78,57\%$ .

**10.9.** 31,36 л (н. у.) смеси водорода с хлором облучили УФ-светом. По окончании реакции осталось 4,48 л непрореагировавшего хлора (н. у.). Вычислите массовую долю водорода в исходной смеси.

О т в е т.  $\omega(\text{H}_2) = 2,07\%$ .

**10.10.** Вычислите массу гидрида кальция, необходимую для получения такого количества водорода, которым можно восстановить 5,6 г оксида меди (II).

О т в е т.  $m(\text{CaH}_2) = 1,47$  г.

**10.11.** Какой объем водорода (н. у.) потребуются для восстановления 375,6 г смеси оксида рутения (IV) и оксида молибдена (VI), массовые доли которых в смеси равны соответственно 42,49 и 57,51%?

О т в е т.  $V(\text{H}_2) = 154,56$  л.

**10.12.** 23,4 г металла, проявляющего в соединениях степень окисления +1, обработали водой. В результате выделилось 6,72 л (н. у.) газа. Определите неизвестный металл.

О т в е т. Калий.

**10.13.** Газовая смесь состоит из водорода (объемная доля 25%), аммиака (объемная доля 40%) и метана (объемная доля 35%). Объем смеси (н. у.) равен 67,2 л. Вычислите общее число атомов водорода, входящих в состав данной смеси.

О т в е т.  $N(\text{H}) = 5,6 \cdot 10^{24}$ .

**10.14.** Массовая доля водорода в соединении с элементом, проявляющим степень окисления  $-4$ , равна 12,5%. Определите неизвестный элемент.

О т в е т. Кремний.

**10.15.** 21 г технического гидрида кальция, массовая доля примесей в котором 10%, обработали избытком воды. Полученный газ прореагировал с 32 г технической серы, массовая доля примесей в которой 20%. Какой объем (н. у.) сероводорода был при этом получен?

О т в е т.  $V(\text{H}_2\text{S}) = 17,92$  л.

**10.16.** Смесь водорода с неизвестным газообразным простым веществом имеет плотность по гелию, равную 4,075. Массовая доля неизвестного газа в этой смеси равна 94,48%. Определите неизвестное вещество.

О т в е т. Азот.

**10.17.** Водород, полученный при действии избытка соляной кислоты на 15,6 г магния, пропустили над 100,8 г нагретого оксида железа (II), при этом произошло частичное восстановление оксида. Вычислите массовую долю металла в смеси, образовавшейся после восстановления.

О т в е т.  $\omega(\text{Fe}) = 40,27\%$ .

**10.18.** 31,36 л (н. у.) смеси водорода и гелия пропустили над раскаленным оксидом меди (II), при этом масса оксида уменьшилась на 12,8 г. Найдите массовую долю водорода в исходной смеси.

О т в е т.  $\omega(\text{H}_2) = 40\%$ .

**10.19.** Смесь хлора с избытком водорода общим объемом 35,84 л (н. у.) облучили УФ-светом. Газовую смесь, образовавшуюся в ходе реакции, пропустили через 200 мл воды, при этом образовался раствор с массовой долей  $\text{HCl}$  12,74%. Рассчитайте массовую долю водорода в исходной смеси газов.

О т в е т.  $\omega(\text{H}_2) = 7,8\%$ .

**10.20.** Массовая доля водорода в смеси обычной воды и тяжелой воды равна 8,11%. Вычислите массовую долю тяжелой воды в смеси.

О т в е т.  $m(\text{D}_2\text{O}) = 27\%$ .

## Приложение 2

### ЗАДАЧИ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ПО ТЕМЕ «ГАЛОГЕНЫ»

**11.1.** Какой объем (н. у.) займет порция хлора, содержащая  $4,816 \cdot 10^{23}$  атомов хлора?

О т в е т. 8,96 л.

**11.2.** Найдите простейшую формулу соединения серы с хлором, массовая доля хлора в котором 68,93%.

О т в е т.  $\text{SCl}_2$ .

**11.3.** Вычислите массовую долю хлора в смеси, содержащей 38,85 г хлорида кальция и 44 г хлорида калия.

О т в е т.  $\omega(\text{Cl}) = 58,2\%$ .

**11.4.** Найдите массовую долю хлора в смеси с аргоном, если известно, что число атомов хлора в этой смеси в 5 раз больше атомов аргона.

О т в е т.  $\omega(\text{Cl}_2) = 81,61\%$ .

**11.5.** Вычислите объем хлора (н. у.), необходимый для реакции с 50 г железа, содержащего 16% примесей.

О т в е т.  $V(\text{Cl}_2) = 25,2$  л.

**11.6.** Какой объем хлора (н. у.) прореагирует со смесью меди и цинка массой 128,8 г, массовая доля меди в котором 59,63%?

О т в е т.  $V(\text{Cl}_2) = 44,8$  л.

**11.7.** Смесью железа и меди массой 7,68 г обрабатывали избытком концентрированной соляной кислоты, при этом выделилось 1792 мл газа (н. у.). Вычислите массовую долю меди в смеси.

О т в е т.  $\omega(\text{Cu}) = 41,7\%$ .

**11.8.** Хлор, полученный при взаимодействии 96,86 мл 38%-ной соляной кислоты ( $\rho = 1,19$  г/мл) и 39,5 г перманганата калия, пропустили через избыток раствора иодида калия. Какая масса иода выделится при этом?

О т в е т.  $m(\text{I}_2) = 95,25$  г.

**11.9.** Какой объем хлороводорода (н. у.) необходимо растворить в 240 г воды, чтобы получить 15%-ный раствор соляной кислоты?

О т в е т.  $V(\text{HCl}) = 26$  л.

**11.10.** Хлороводород, полученный при действии избытка концентрированной серной кислоты на 15,6 г технического хлорида натрия, растворили в воде. При этом образовалось 73 г раствора, массовая доля  $\text{HCl}$  в котором равна 12%. Вычислите массовую долю примесей в техническом хлориде натрия.

О т в е т.  $\omega(\text{примесей}) = 10\%$ .

**11.11.** При разложении 196 г хлората калия в присутствии оксида марганца (IV) получено 176,8 г твердого остатка. Вычислите массовую долю хлорида калия в полученном остатке.

О т в е т.  $\omega(\text{KCl}) = 16,86\%$ .

**11.12.** Через 415 г раствора, массовая доля иодида калия в котором 20%, пропустили 4,48 л хлора (н. у.). Выделившийся иод отфильтровали,

к фильтрату добавили избыток раствора нитрата серебра. Вычислите массу образовавшегося при этом осадка.

О т в е т.  $m(\text{осадка}) = 80,9 \text{ г}$ .

**11.13.** Смесь водорода и хлора поместили в закрытый сосуд и взорвали. После реакции остался непрореагировавший водород, объем которого в 3 раза больше, чем объем водорода, вступившего в реакцию. Вычислите массовую долю хлора в исходной смеси.

О т в е т.  $\omega(\text{Cl}_2) = 89,87\%$ .

**11.14.** К 125 г раствора, содержащего хлороводород и фтороводород, добавили избыток раствора нитрата серебра. При этом образовалось 57,4 г осадка. Осадок отфильтровали, а фильтрат нейтрализовали раствором гидроксида калия. На нейтрализацию было израсходовано 145,6 г 25%-ного раствора гидроксида калия. Вычислите массовые доли кислот в исходном растворе.

О т в е т.  $\omega(\text{HF}) = 4\%$ ,  $\omega(\text{HCl}) = 11,68\%$ .

**11.15.** Молярная масса бромида щелочного металла в 2,125 раза больше молярной массы гидроксида того же металла. Определите неизвестный металл.

О т в е т. Калий.

**11.16.** При взаимодействии 29,4 г хлората калия с избытком концентрированной соляной кислоты получен хлор, который прореагировал с 10,8 г алюминия. Определите выход продукта в первой реакции, если во второй реакции выход продукта равен 100%.

О т в е т.  $\eta(\text{Cl}_2) = 83,3\%$ .

**11.17.** Какой объем хлороводорода (н. у.) нужно растворить в 200 мл воды, чтобы получить соляную кислоту с концентрацией 7,4 моль/л и плот-

ностью 1,125 г/мл? Какую массу хлорида натрия необходимо взять для получения вычисленного объема хлороводорода, если выход хлороводорода — 80%?

О т в е т.  $V(\text{HCl}) = 38,75$  л,  $m(\text{NaCl}) = 126,5$  г.

**11.18.** Хлороводород, полученный действием избытка концентрированной серной кислоты на 28,08 г хлорида натрия, растворили в воде. На полученный раствор подействовали избытком перманганата калия. Выделившийся газ пропустили через 150 мл 10% -ного раствора гидроксида калия (плотность — 1,12 г/мл), нагретого до 100 °С. Какие вещества образуются в растворе и каковы их массовые доли?

О т в е т.  $\omega(\text{KCl}) = 10,42\%$ ,  $\omega(\text{KClO}_3) = 3,4\%$ .

**11.19.** 300 г раствора, содержащего хлорид бария и хлорид меди (II), разделили на две равные части. К одной части добавили избыток серной кислоты, при этом выделилось 52,43 г осадка. К другой части добавили избыток раствора нитрата серебра (I), при этом образовалось 107,63 г осадка. Вычислите массовые доли солей в исходном растворе.

О т в е т.  $\omega(\text{BaCl}_2) = 31,2\%$ ,  $\omega(\text{CuCl}_2) = 13,5\%$ .

**11.20.** 44,3 г смеси хлората калия и хлорида калия прокалили до постоянной массы. Остаток после прокаливания растворили в воде и обработали избытком раствора нитрата серебра (I). При этом образовалось 63,14 г осадка. Найдите массовую долю хлорида калия в исходной смеси.

О т в е т.  $\omega(\text{KCl}) = 33,6\%$ .

Предисловие . . . . .	3
<b>Количественные характеристики вещества . . . . .</b>	<b>8</b>
Основные количественные характеристики вещества: количество вещества, масса и объем	8
Массовая, объемная и молярная доля вещества в смеси. Массовая доля элемента в соединении	17
Вывод формул соединений . . . . .	31
<b>Количественные характеристики химического процесса</b>	<b>46</b>
Расчет количества вещества, массы или объема исходных веществ и продуктов реакции . . . . .	46
Расчет массы, объема продукта реакции, если одно из реагирующих веществ дано в избытке	62
Расчеты, связанные с использованием доли выхода продуктов реакции . . . . .	77
Расчеты, связанные со скоростью химической реакции и химическим равновесием . . . . .	92
Расчеты, связанные с концентрацией растворов, растворимостью веществ, электролитической диссоциацией. . . . .	109
Расчеты, связанные с положением металлов в электрохимическом ряду напряжений металлов . . . . .	132
<b>Приложения . . . . .</b>	<b>151</b>
Приложение 1. Задачи различных типов по теме «Водород» . . . . .	151
Приложение 2. Задачи различных типов по теме «Галогены» . . . . .	154

*Учебное издание*

**Габриелян Олег Сергеевич  
Решетов Павел Владимирович  
Остроумов Игорь Геннадьевич**

**ЗАДАЧИ ПО ХИМИИ  
И СПОСОБЫ ИХ РЕШЕНИЯ**

**8—9 классы**

Зав. редакцией *Т.Д. Гамбурцева*  
Ответственный редактор *А.В. Яшукова*  
Оформление *А. А. Шувалова, С. И. Кравцова*  
Технический редактор *И.В. Грибкова*  
Компьютерная верстка *А.В. Егоров*  
Корректор *Н.С. Соболева*





Сертификат соответствия  
№ РОСС RU. АЕ51. Н 16602.

**12+**

Подписано к печати 17.04.15. Формат 84 × 108 <sup>1</sup>/<sub>32</sub>.  
Бумага офсетная. Гарнитура «Школьная». Печать офсетная.  
Усл. печ. л. 8,4. Тираж 3000 экз. Заказ № 7223.

ООО «ДРОФА». 127254, Москва, Огородный проезд, д. 5, стр. 2.

**Предложения и замечания по содержанию и оформлению книги  
просим направлять в редакцию общего образования издательства «Дрофа»:  
127254, Москва, а/я 19. Тел.: (495) 795-05-41. E-mail: chief@drofa.ru**

**По вопросам приобретения продукции издательства «Дрофа»  
обращаться по адресу: 127254, Москва, Огородный проезд, д. 5, стр. 2.  
Тел.: (495) 795-05-50, 795-05-51. Факс: (495) 795-05-52.**

**Сайт ООО «ДРОФА»: [www.drofa.ru](http://www.drofa.ru)**

**Электронная почта: [sales@drofa.ru](mailto:sales@drofa.ru)**

**Тел.: 8-800-200-05-50 (звонок по России бесплатный)**

Отпечатано с электронных носителей издательства.

ОАО "Тверской полиграфический комбинат". 170024, г. Тверь, пр-т Ленина, 5.

Телефон: (4822) 44-52-03, 44-50-34, Телефон/факс (4822) 44-42-15

Home page - [www.tverpk.ru](http://www.tverpk.ru) Электронная почта (E-mail) - [sales@tverpk.ru](mailto:sales@tverpk.ru)



Онлайн словари  
издательства «Дрофа»  
Комфортный перевод  
бесплатно и без рекламы

[slovari.drofa.ru](http://slovari.drofa.ru)



Мобильные  
словари  
издательства  
«Дрофа»



Доступно в  
AppStore и Google play