

## Часть 1. Типовые задачи.

### 1.1. Основные понятия химии.

#### 1.1.1. Количество вещества ( $n$ ), масса ( $m$ ), молярная масса ( $M$ ), число Авогадро ( $N_A$ )

$$m = n \cdot M \text{ [г]} \quad n = \frac{m}{M} \text{ [моль]} \quad M = \frac{m}{n} \text{ [г/моль]}$$
$$N_A = 6,023 \cdot 10^{23} \text{ [моль}^{-1}\text{]} \quad N \text{ (число частиц)} = n \cdot N_A$$

**Пример 1.** Какое количество вещества магния и сколько атомов магния содержится в образце чистого магния массой 6 г? Какова масса одного атома магния?

Решение:

$$v = m / M = 6 / 4 = 0,25 \text{ моль}; N = v \cdot N_A = 0,25 \cdot 6,023 \cdot 10^{23} = 1,506 \cdot 10^{23} \text{ атомов.}$$

$$m(\text{атома}) = M / N_A = 24 / 6,023 \cdot 10^{23} = 3,985 \cdot 10^{-23} \text{ г}^*.$$

Ответ:  $v(\text{Mg}) = 0,25$  моль;  $N(\text{Mg}) = 1,506 \cdot 10^{23}$  атомов;  $m(\text{атома Mg}) = 3,985 \cdot 10^{-23}$  г.

**Пример 2.** Какие количества вещества сульфата натрия, атомов натрия, атомов серы и атомов кислорода содержатся в 71 г сульфата натрия?

Решение:

$$M(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 2 \cdot M(\text{Na}) + M(\text{S}) + 4 \cdot M(\text{O}) = 2 \cdot 23 + 32 + 4 \cdot 16 = 142 \text{ г/моль.}$$

$$v(\text{Na}_2\text{SO}_4) = m / M = 71 / 142 = 0,5 \text{ моль.}$$

1 моль  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  содержит 2 моль атомов натрия, 1 моль атомов серы и 4 моль атомов кислорода:

$$v(\text{Na}) = 2 \cdot v(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 2 \cdot 0,5 = 1 \text{ моль}; v(\text{S}) = v(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 0,5 \text{ моль};$$

---

\* \*Примечание: Расчеты рекомендуется производить с точностью, по меньшей мере, до трех значащих цифр. В тех случаях, когда в условии задачи исходные числовые данные приведены с большей точностью, лучше придерживаться такой же точности, что и в условии задачи. При округлении, если следующая значащая цифра меньше пяти, то ее отбрасывают, а если больше, то предыдущую увеличивают на единицу. Пример:  $0,32653 \approx 0,327$ ;  $0,04741 \approx 0,0474$ .

$$v(\text{O}) = 4 \cdot v(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 4 \cdot 0,5 = 2 \text{ моль.}$$

Ответ:  $v(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 0,5$  моль;  $v(\text{Na}) = 1$  моль;  $v(\text{S}) = 0,5$  моль;  $v(\text{O}) = 2$  моль.

**Пример 3.** Определите суммарное число элементарных частиц (протонов, нейтронов и электронов), содержащихся в 4,4 г изотопа бора с массовым числом 11.

Решение:

$$A_r = N + Z$$

$A_r$  – относительная атомная масса, равная массовому числу изотопа и численно равная молярной массе изотопа в г/моль;  $N$  – число нейтронов в ядре;  $Z$  – число протонов в ядре, равное числу электронов в нейтральном атоме и соответствующее атомному номеру элемента.

$$N = A_r - Z = 11 - 5 = 6$$

Один атом бора содержит 5 протонов, 5 электронов и 6 нейтронов — всего  $5 + 5 + 6 = 16$  элементарных частиц, следовательно, 1 моль атомов бора содержит 16 моль элементарных частиц.

$$v(\text{B}) = m / M = 4,4 / 11 = 0,4 \text{ моль; } v(\text{элементарных частиц}) = 16 \cdot v(\text{B}) = 16 \cdot 0,4 = 6,4 \text{ моль.}$$

$$N(\text{элементарных частиц}) = v(\text{элементарных частиц}) \cdot N_A = 6,4 \cdot 6,023 \cdot 10^{23} = 3,855 \cdot 10^{24}.$$

Ответ: в 4,4 г бора содержится  $3,855 \cdot 10^{24}$  элементарных частиц.

**Пример 4.** Определите количества веществ и массы сульфата железа и воды, содержащихся в 100 г железного купороса (семиводного кристаллогидрата сульфата железа(II):  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ).

Решение:

$$M(\text{FeSO}_4) = 56 + 32 + 16 \cdot 4 = 152 \text{ г/моль; } M(\text{H}_2\text{O}) = 1 \cdot 2 + 16 = 18 \text{ г/моль.}$$

$$M(\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}) = M(\text{FeSO}_4) + M(\text{H}_2\text{O}) \cdot 7 = 152 + 18 \cdot 7 = 278 \text{ г/моль.}$$

$$v(\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}) = m / M = 100 / 278 = 0,360 \text{ моль.}$$

1 моль семиводного кристаллогидрата сульфата железа содержит 1 моль безводного сульфата железа и 7 моль воды.

$$v(\text{FeSO}_4) = v(\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}) = 0,36 \text{ моль.}$$

$$v(\text{H}_2\text{O}) = v(\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}) \cdot 7 = 2,52 \text{ моль.}$$

$$m(\text{FeSO}_4) = v(\text{FeSO}_4) \cdot M(\text{FeSO}_4) = 0,36 \cdot 152 = 54,7 \text{ г;}$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = v(\text{H}_2\text{O}) \cdot M(\text{H}_2\text{O}) = 2,52 \cdot 18 = 45,4 \text{ г.}$$

Ответ:  $v(\text{FeSO}_4) = 0,36$  моль;  $m(\text{FeSO}_4) = 54,7$  г;  $v(\text{H}_2\text{O}) = 2,52$  моль;  $m(\text{H}_2\text{O}) = 45,4$  г.

**Пример 5.** Определите состав и массу одной молекулы кристаллической серы (в граммах), если известно, что масса 0,15 моль кристаллической серы равна 38,4 г.

Решение:

Пусть в состав молекулы кристаллической серы входит  $n$  атомов серы, тогда ее химическая формула  $S_n$ .

$$M(S_n) = M / \nu = 38,4 / 0,15 = 256 \text{ г/моль. } n = M(S_n) / M(S) = 256 / 32 = 8.$$

$$m(\text{молекулы серы}) = M(S_8) / N_A = 256 / 6,023 \cdot 10^{23} = 4,25 \cdot 10^{-22} \text{ г.}$$

Ответ: в состав молекулы серы входит 8 атомов; масса молекулы серы =  $4,25 \cdot 10^{-22}$  г.

**Задачи для самостоятельного решения:**

1. Определите количество вещества электронов и число протонов, содержащихся в образце сульфата железа (II) массой 30,4 г.
2. Определите количества веществ и массы карбоната натрия и воды, образующиеся при прокаливании 85,8 г кристаллической соды (десятиводного кристаллогидрата карбоната натрия).
3. Определите массу водорода, содержащуюся в  $3,01 \cdot 10^{23}$  молекулах метана.
4. Определите относительную молекулярную массу некоторого простого вещества В, если масса одной молекулы В составляет  $5,31 \cdot 10^{-23}$  г.
5. Дано 6,3 г азотной кислоты. Определите массу угольной кислоты в граммах, в которой содержится такое же число молекул.
6. Определите число атомов углерода, содержащихся в 0,01 моль пропана.
7. Определите, в каком количестве озона содержится  $5,421 \cdot 10^{22}$  атомов кислорода.
8. Масса одной молекулы белого фосфора равна  $2,06 \cdot 10^{-22}$  г. Рассчитайте число атомов в одной молекуле белого фосфора.

**1.1.2. Массовая доля элемента (w) в химическом соединении или в смеси.**

$$\text{Для смеси: } w = \frac{m(\text{элемента})}{m(\text{смеси})} \quad w\% = w \cdot 100$$

Для химического соединения формулы  $A_xB_yC_z$ :

$$w(A) = \frac{x \cdot M(A)}{M(A_xB_yC_z)} ; \quad w(B) = \frac{y \cdot M(B)}{M(A_xB_yC_z)} ; \quad w(C) = \frac{z \cdot M(C)}{M(A_xB_yC_z)}$$

**Пример 6.** Вычислите массовую долю азота как элемента в смеси, содержащей 1,5 моль азота и 0,5 моль аммиака.

Решение:

$$m(\text{N}_2) = \nu(\text{N}_2) \cdot M(\text{N}_2) = 1,5 \cdot 28 = 42 \text{ г.} \quad m(\text{NH}_3) = \nu(\text{NH}_3) \cdot M(\text{NH}_3) = 0,5 \cdot 17 = 8,5 \text{ г.}$$

$$m(\text{смеси}) = m(\text{N}_2) + m(\text{NH}_3) = 42 + 8,5 = 50,5 \text{ г.} \quad \nu(\text{N в N}_2) = 2 \cdot \nu(\text{N}_2) = 2 \cdot 1,5 = 3 \text{ моль.}$$

$$\nu(\text{N в NH}_3) = \nu(\text{NH}_3) = 0,5 \text{ моль.} \quad \nu(\text{N в смеси}) = 3 + 0,5 = 3,5 \text{ моль.}$$

$$m(\text{N}) = \nu(\text{N}) \cdot M(\text{N}) = 3,5 \cdot 14 = 49 \text{ г.}$$

$$\omega(\text{N}) = m(\text{N}) / m(\text{смеси}) = 49 / 50,5 = 0,97 \text{ (97\%).}$$

Ответ:  $\omega(\text{N}) = 97\%$ .

**Пример 7.** Определите массовые доли элементов в ортофосфорной кислоте.

Решение:

$$M(\text{H}_3\text{PO}_4) = 3 \cdot M(\text{H}) + M(\text{P}) + 4 \cdot M(\text{O}) = 3 \cdot 1 + 31 + 4 \cdot 16 = 98 \text{ г/моль.}$$

$$\omega(\text{H}) = 3 \cdot M(\text{H}) / M(\text{H}_3\text{PO}_4) = 3 \cdot 1 / 98 = 0,0306 \text{ (3,06\%);}$$

$$\omega(\text{P}) = M(\text{P}) / M(\text{H}_3\text{PO}_4) = 31 / 98 = 0,3163 \text{ (31,63\%);}$$

$$\omega(\text{O}) = 4 \cdot M(\text{O}) / M(\text{H}_3\text{PO}_4) = 4 \cdot 16 / 98 = 0,6531 \text{ (65,31\%).}$$

Ответ:  $\omega(\text{H}) = 3,06\%$ ;  $\omega(\text{P}) = 31,63\%$ ;  $\omega(\text{O}) = 65,31\%$ .

**Пример 8.** Определите количества и массы веществ, содержащихся в 26,2 г смеси оксида фосфора (V) и оксида серы (VI), если известно, что массовая доля фосфора как элемента в этой смеси составляет 23,66%.

Решение:

1) Если в условии задачи массовые доли приведены в процентах, то для удобства расчетов их лучше сразу перевести в доли единицы:

$$\omega = \omega\% / 100; \quad \omega(\text{P}) = 23,66 / 100 = 0,2366.$$

2)  $m(\text{P}) = m(\text{смеси}) \cdot \omega(\text{P}) = 26,2 \cdot 0,2366 = 6,2 \text{ г;}$   $\nu(\text{P}) = m(\text{P}) / M(\text{P}) = 6,2 / 31 = 0,2$  моль.

Один моль  $\text{P}_2\text{O}_5$  содержит два моль атомов P, поэтому количество вещества  $\text{P}_2\text{O}_5$  в два раза меньше количества вещества фосфора:

$$\nu(\text{P}_2\text{O}_5) = \nu(\text{P}) / 2 = 0,2 / 2 = 0,1 \text{ моль;}$$

$$m(\text{P}_2\text{O}_5) = \nu(\text{P}_2\text{O}_5) \cdot M(\text{P}_2\text{O}_5) = 0,1 \cdot 142 = 14,2 \text{ г.}$$

3)  $m(\text{SO}_3) = m(\text{смеси}) - m(\text{P}_2\text{O}_5) = 26,2 - 14,2 = 12 \text{ г;}$   $\nu(\text{SO}_3) = m(\text{SO}_3) / M(\text{SO}_3) = 12 / 80 = 0,15$  моль.

Ответ:  $\nu(\text{P}_2\text{O}_5) = 0,1$  моль;  $m(\text{P}_2\text{O}_5) = 14,2 \text{ г;}$   $\nu(\text{SO}_3) = 0,15$  моль;  $m(\text{SO}_3) = 12 \text{ г.}$

**Пример 9.** Определите массы веществ, входящих в состав образца олеума массой 28,5 г, если известно, что массовая доля серы как элемента в нем составляет 33,68%.

Решение:

- 1) Олеум – это раствор оксида серы (VI) в чистой серной кислоте. Пусть количество вещества  $\text{SO}_3$  в олеуме равно  $x$ , а количество вещества серной кислоты в нем равно  $y$ , тогда количество вещества S в олеуме равно  $x$ , а количество вещества S в серной кислоте равно  $y$ .
- 2)  $m(\text{SO}_3) = M(\text{SO}_3) \cdot x = 80x$  и  $m(\text{H}_2\text{SO}_4) = M(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot y = 98y$ .  $80x + 98y = 28,5$
- 3)  $\omega(\text{S}) = 33,68 / 100 = 0,3368$ .  $m(\text{S}) = m(\text{олеума}) \cdot \omega(\text{S}) = 28,5 \cdot 0,3368 = 9,6$  г;  
 $\nu(\text{S}) = m(\text{S}) / M(\text{S}) = 9,6 / 32 = 0,3$  моль;  $x + y = 0,3$ .
- 4) Составляем систему уравнений и решаем ее:

$$\begin{array}{l|l|l|l} x + y = 0,3 & \cdot 98 & 98x + 98y = 29,4 & 18x = 0,9 \\ 80x + 98y = 28,5 & & 80x + 98y = 28,5 & x = 0,05 \end{array} \quad \left| \begin{array}{l} y = 0,3 - 0,05 = 0,25 \\ \end{array} \right.$$

- 5)  $m(\text{SO}_3) = M(\text{SO}_3) \cdot x = 80x = 80 \cdot 0,05 = 4$  г.  
 $m(\text{H}_2\text{SO}_4) = M(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot y = 98y = 98 \cdot 0,25 = 24,5$  г.

Ответ:  $m(\text{SO}_3) = 4$  г;  $m(\text{H}_2\text{SO}_4) = 24,5$  г.

**Пример 10.** Массовая доля элемента в оксиде неизвестного элемента (V) составляет 56,04 %. Определите неизвестный элемент и молярную массу его оксида.

Решение:

Формула оксида  $\text{Э}_2\text{O}_5$ .  $\omega(\text{O}) = 1 - \omega(\text{Э}) = 1 - 0,5604 = 0,4396$ . 1 моль оксида содержит 5 моль кислорода. Масса кислорода в одном моле оксида =  $5 \cdot 16 = 80$  г. Масса одного моля оксида – это его молярная масса:

$$M(\text{Э}_2\text{O}_5) = m(\text{O в одном моле оксида}) / \omega(\text{O}) = 80 / 0,4396 = 182 \text{ г/моль.}$$

$$M(\text{Э}) = [M(\text{Э}_2\text{O}_5) - 5 \cdot M(\text{O})] / 2 = (182 - 80) / 2 = 51 \text{ г/моль.}$$

В периодической системе элементов находим, что атомную массу 51 имеет элемент ванадий (V).

Ответ: элемент – ванадий;  $M(\text{V}_2\text{O}_5) = 182$  г/моль.

**Задачи для самостоятельного решения:**

9. Определите массовую долю железа в  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .
10. Соединение некоторого элемента имеет формулу  $\text{Э}_2\text{O}_3$ , а массовая доля элемента в нем составляет 68,42 %. Установите элемент.
11. В ортофосфате элемента (II) массовая доля этого элемента составляет 68,44 %. Определите, о фосфате какого элемента идет речь.
12. Определите формулу кристаллогидрата фосфата натрия, если известно, что массовая доля водорода как элемента в нем составляет 6,316 %.

13. Определите массовую долю калия как элемента в смеси, состоящей из 25,25 г нитрата калия и 41,4 г карбоната калия.
14. Определите количества и массы веществ, содержащихся в образце смеси оксидов алюминия и кремния массой 43,68 г, если массовая доля кислорода как элемента в этой смеси составляет 49,82 % .

### 1.1.3. Определение формулы вещества

Для вещества формулы  $A_xB_yC_z\dots\dots$

$$x : y : z = n(A) : n(B) : n(C)\dots\dots$$

**Пример 11.** Определите простейшую формулу вещества, в котором массовые доли натрия, фосфора и кислорода составляют 34,59, 23,31 и 42,10 % соответственно.

Решение:



$$x : y : z = v(Na) : v(P) : v(O) = m(Na) / M(Na) : m(P) / M(P) : m(O) / M(O).$$

- 1) Если взять  $m(Na_xP_yO_z) = 100$  г, то  $m(Na) = 34,59$  г;  $m(P) = 23,31$  г и  $m(O) = 42,1$  г.

$$x : y : z = 34,59 / 23 : 23,31 / 31 : 42,1 / 16 = 1,504 : 0,752 : 2,63.$$

- 4) Для получения целых значений  $x$ ,  $y$  и  $z$  полученные цифры сначала надо разделить на наименьшую из них (0,752):

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

- 5) Если не все полученные цифры целые (как в данном случае), то необходимо подобрать наименьший множитель, который превратил бы их в целые (здесь 2):

$$x : y : z = 4 : 2 : 7$$

Простейшая формула вещества  $Na_4P_2O_7$ .

Ответ:  $Na_4P_2O_7$ .

**Пример 12.** Определите молекулярную формулу вещества, состоящего из кислорода, азота, фосфора и водорода, если известно, что оно содержит по массе 48,48 % кислорода, число атомов азота в нем в два раза больше числа атомов фосфора, а количество атомов водорода в соединении в 2,25 раза больше количества атомов кислорода. Молярная масса вещества меньше 200 г/моль.

Решение:

Формула вещества  $O_xN_yP_zH_k$

- 1) Пусть масса вещества равна 100 г, тогда  $m(O) = 48,48$  г.  $v(O) = m(O) / M(O) = 48,48 / 16 = 3,03$  моль.

$$2) \nu(\text{H}) = \nu(\text{O}) \cdot 2,25 = 3,03 \cdot 2,25 = 6,82 \text{ моль. } m(\text{H}) = \nu(\text{H}) \cdot M(\text{H}) = 6,82 \cdot 1 = 6,82 \text{ г.}$$

$$3) m(\text{N} + \text{P}) = m(\text{вещества}) - m(\text{O}) - m(\text{H}) = 100 - 48,5 - 6,82 = 44,68 \text{ г.}$$

$$m(\text{N}) = \nu(\text{N}) \cdot M(\text{N}) = 14 \cdot \nu(\text{N}); m(\text{P}) = \nu(\text{P}) \cdot M(\text{P}) = 31 \cdot \nu(\text{P}).$$

4) Составляем систему уравнений и решаем ее:

$$\begin{array}{l|l} 14\nu(\text{N}) + 31\nu(\text{P}) = 44,68 & 28\nu(\text{P}) + 31\nu(\text{P}) = 44,68 \\ \nu(\text{N}) = 2 \cdot \nu(\text{P}) & 59\nu(\text{P}) = 44,68 \end{array} \quad \begin{array}{l} \nu(\text{P}) = 0,757 \text{ моль} \\ \nu(\text{N}) = 0,757 \cdot 2 = 1,514 \text{ моль} \end{array}$$

$$5) \mathbf{x : y : z : k} = 3,03 : 1,514 : 0,757 : 6,82 = 4 : 2 : 1 : 9. \text{ O}_4\text{N}_2\text{PH}_9$$

Мы определили простейшую формулу вещества. Молекулярная формула может содержать удвоенное, утроенное и т.д. число атомов. Чтобы убедиться, что молекулярная формула совпадает с простейшей, подсчитаем молярную массу вещества:

$$M(\text{O}_4\text{N}_2\text{PH}_9) = 16 \cdot 4 + 14 \cdot 2 + 31 + 1 \cdot 9 = 132 \text{ г/моль. } 132 < 200.$$

Очевидно, что молярная масса для удвоенной формулы будет больше 200, что противоречит условию задачи, следовательно, молекулярная формула вещества  $\text{O}_4\text{N}_2\text{PH}_9$ . Перегруппировав атомы легко догадаться, что это вещество является гидрофосфатом аммония  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ .

Ответ:  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ .

**Пример 13.** При полном сгорании 6 г органического вещества образовалось 8,8 г оксида углерода (IV) и 3,6 г воды. Определите молекулярную формулу сожженного вещества, если известно, что его молярная масса равна 180 г/моль.

Решение:

1) Судя по продуктам сгорания, вещество содержало углерод, водород и, возможно, кислород.



2) Определяем количество вещества и массу углерода в  $\text{CO}_2$ :

$$\nu(\text{CO}_2) = 8,8 / 44 = 0,2 \text{ моль. } \nu(\text{C}) = \nu(\text{CO}_2) = 0,2 \text{ моль. } m(\text{C}) = 0,2 \cdot 12 = 2,4 \text{ г.}$$

3) Определяем количество вещества и массу водорода в  $\text{H}_2\text{O}$ :

$$\nu(\text{H}_2\text{O}) = 3,6 / 18 = 0,2 \text{ моль. } \nu(\text{H}) = 2 \cdot \nu(\text{H}_2\text{O}) = 2 \cdot 0,2 = 0,4 \text{ моль. } m(\text{H}) = 0,4 \cdot 1 = 0,4 \text{ г.}$$

4) Определяем массу и количество вещества кислорода в органическом веществе:

$$m(\text{O}) = m(\text{вещества}) - m(\text{C}) - m(\text{H}) = 6 - 2,4 - 0,4 = 3,2 \text{ г. } \nu(\text{O}) = 3,2 / 16 = 0,2 \text{ моль.}$$

5) Определяем простейшую формулу:

$x : y : z = v(C) : v(H) : v(O) = 0,2 : 0,4 : 0,2 = 1 : 2 : 1$ .  $CH_2O$ .

Молекулярная формула  $(CH_2O)_n$

б) Для того чтобы найти значение  $n$ , определяем молярную массу фрагмента  $CH_2O$

$M(CH_2O) = 12 + 2 + 16 = 30$  г/моль.  $n = M(\text{вещества}) / M(CH_2O) = 180 / 30 = 6$ . Молекулярная формула:  $C_6H_{12}O_6$

Ответ: Молекулярная формула сожженного вещества  $C_6H_{12}O_6$ .

### Задачи для самостоятельного решения:

15. Определите молекулярную формулу соли с молярной массой менее 300, в которой массовые доли азота, водорода, хрома и кислорода составляют 11,11; 3,17; 41,27 и 44,44 % соответственно.

16. Элементы А и Б образуют соединение, содержащее 89,89 % (по массе) элемента Б. При гидролизе этого вещества выделяется газ, содержащий элемент Б и 1,234 % (по массе) водорода. Определите формулу вещества, содержащего элементы А и Б, напишите реакцию его гидролиза.

17. Определите формулу кристаллогидрата соли, если известно, что массовые доли натрия, углерода, водорода и кислорода в нем составляют 16,08; 4,196; 6,933 и 72,73 % соответственно.

18. При полном сгорании некоторого количества ароматического углеводорода ряда бензола ( $C_nH_{2n-6}$ ) образовалось 14,08 г оксида углерода (IV) и 3,6 г воды. Предложите возможные структурные формулы изомеров этого углеводорода.

19. При сжигании 26,7 г аминокислоты ( $C_xH_yO_zN_k$ ) в избытке кислорода образуется 39,6 г оксида углерода (IV), 18,9 г воды и 4,2 г азота. Определите формулу аминокислоты.

#### 1.1.4. Расчеты по уравнениям химических реакций. Выход (h) продукта в реакции или в процессе.

Количества веществ, вступающих в химическую реакцию и образующихся в результате этой реакции, соотносятся как коэффициенты в уравнении реакции, например:



$$n(C_2H_6) : n(O_2) : n(CO_2) : n(H_2O) = 2 : 7 : 4 : 6$$

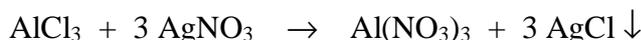
$$h = \frac{n(\text{практически полученное})}{n(\text{теоретически возможное})} = \frac{m(\text{практически полученная})}{m(\text{теоретически возможная})} ;$$

$$h \% = h * 100$$

**Пример 14.** Раствор, содержащий 0,2 моль хлорида алюминия, смешали с раствором, содержащим 0,3 моль нитрата серебра. Определите количество вещества выпавшего в осадок хлорида серебра и количества веществ, оставшихся в растворе.

Решение:

- 1) Запишем уравнение химической реакции и не забудем расставить необходимые коэффициенты:



Согласно уравнению реакции 1 моль хлорида алюминия реагирует с 3 моль нитрата серебра, при этом образуется 1 моль нитрата алюминия и 3 моль хлорида серебра.

- 2) Определяем, какой из двух реагентов находится в избытке. Для этого количества веществ разделим на соответствующие коэффициенты в уравнении реакции и сравним полученные цифры. То вещество, для которого полученная цифра является наименьшей, находится в недостатке:

$$(\text{AlCl}_3) \quad 0,2 / 1 = 0,2; \quad (\text{AgNO}_3) \quad 0,3 / 3 = 0,1. \quad 0,2 > 0,1$$

Следовательно, хлорид алюминия имеется в избытке, а нитрат серебра в недостатке.

- 3) Расчет ведется всегда по тому веществу, которое находится в недостатке, т.е. по нитрату серебра. Количество прореагировавшего нитрата и образовавшегося хлорида серебра равны между собой, так как коэффициенты в уравнении реакции для этих веществ одинаковы, поэтому:

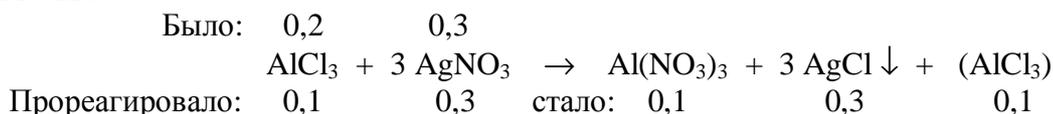
$$v(\text{AgCl}) = v(\text{AgNO}_3) = 0,3 \text{ моль.}$$

Коэффициенты для хлорида и нитрата алюминия в уравнении в три раза меньше, чем для хлорида серебра, поэтому количества прореагировавшего хлорида алюминия и образовавшегося нитрата алюминия тоже в три раза меньше:

$$v[\text{Al}(\text{NO}_3)_3] = v(\text{AgCl}) / 3 = 0,3 / 3 = 0,1 \text{ моль}$$

В растворе осталось не прореагировавшим  $0,2 - 0,1 = 0,1$  моль хлорида алюминия.

Все эти рассуждения и результаты расчетов очень полезно отображать следующим образом: в уравнении реакции количества исходных веществ записывать над соответствующими формулами, количества прореагировавших и образовавшихся веществ под ними, вещество, бывшее в избытке и оставшееся после реакции указывать в правой части уравнения химической реакции в скобках, проставив под ним его оставшееся количество.



Ответ: В осадок выпало 0,3 моль  $\text{AgCl}$ , в растворе осталось 0,1 моль  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$  и 0,1 моль  $\text{AlCl}_3$ .

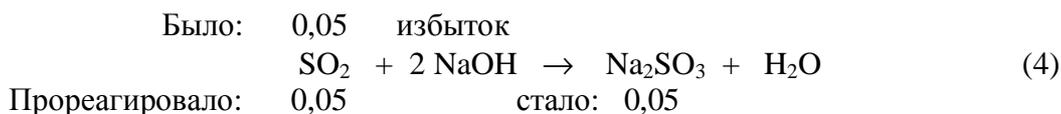
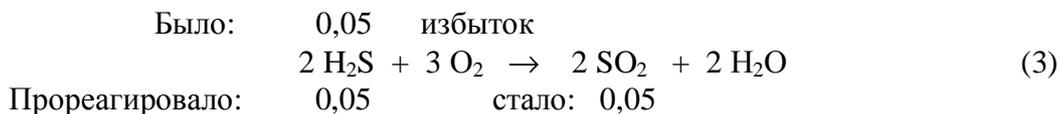
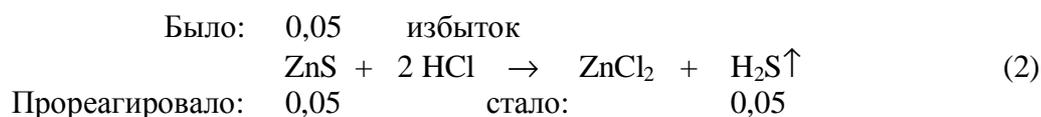
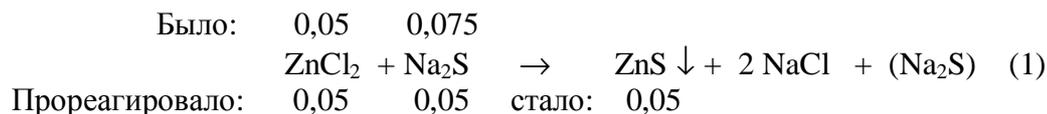
**Пример 15.** Осадок, образовавшийся после смешивания растворов, содержащих 6,8 г хлорида цинка и 5,85 г сульфида натрия, обработали избытком соляной кислоты. Выделившийся газ сожгли в избытке кислорода, и продукты сгорания растворили в избытке раствора гидроксида натрия. Определите массу образовавшейся соли.

Решение:

1) Рассчитаем количества веществ, содержащихся в исходных растворах:

$$v(\text{ZnCl}_2) = 6,8 / 136 = 0,05 \text{ моль}; \quad v(\text{Na}_2\text{S}) = 5,85 / 78 = 0,075 \text{ моль}.$$

2) Запишем все уравнения происходящих химических реакций, определим какое из исходных веществ было в недостатке, и проставим количества реагирующих и образующихся веществ:



По первому уравнению реакции один моль хлорида цинка реагирует с одним молем сульфида натрия. Согласно условию задачи количество вещества сульфида натрия больше количества вещества хлорида цинка, поэтому последний находится в недостатке, и все расчеты производятся по нему. Из последовательности реакций, записанной вышеприведенным образом видно, что конечного продукта (сульфита натрия) образуется столько же, сколько было хлорида цинка (0,05 моль).

3) Определяем массу сульфита натрия:

$$m(\text{Na}_2\text{SO}_3) = v(\text{Na}_2\text{SO}_3) \cdot M(\text{Na}_2\text{SO}_3) = 0,05 \cdot 126 = 6,3 \text{ г}.$$

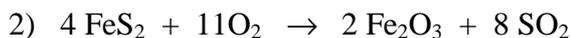
Ответ:  $m(\text{Na}_2\text{SO}_3) = 6,3 \text{ г}$ .

**Пример 16.** Определите массу серной кислоты, которую можно получить из одной тонны пирита, если выход оксида серы (IV) в реакции обжига составляет 90 %, а оксида серы (VI) в реакции каталитического окисления оксида серы (IV) – 95 % от теоретического.

Решение:

1)

$$2) \quad v(\text{FeS}_2) = m(\text{FeS}_2) / M(\text{FeS}_2) = 1000 \text{ кг} / 120 = 8,33 \text{ киломоль}. \quad (1 \text{ киломоль} = 1000 \text{ моль})$$



Поскольку в уравнении реакции коэффициент при  $\text{SO}_2$  в два раза больше, чем коэффициент при  $\text{FeS}_2$ ,  $\nu(\text{SO}_2)$  теоретически возможное =  $2 \cdot \nu(\text{FeS}_2) = 2 \cdot 8,33 = 16,66$  киломоль.

$\nu(\text{SO}_2)$  практически полученное =  $\eta \cdot \nu(\text{SO}_2)$  теоретически возможное =  $0,9 \cdot 16,66 = 15$  киломоль.

3)  $2 \text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{SO}_3$   $\nu(\text{SO}_3)$  теоретически возможное =  $\nu(\text{SO}_2) = 15$  киломоль.

$\nu(\text{SO}_3)$  практически полученное =  $\eta \cdot \nu(\text{SO}_3)$  теоретически возможное =  $0,95 \cdot 15 = 14,25$  киломоль.

4)  $\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$   $\nu(\text{H}_2\text{SO}_4) = \nu(\text{SO}_3) = 14,25$  киломоль. Выход в последней реакции составляет 100 %.

$m(\text{H}_2\text{SO}_4) = \nu(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot M(\text{H}_2\text{SO}_4) = 14,25 \cdot 98 = 1397$  кг.

Ответ:  $m(\text{H}_2\text{SO}_4) = 1397$  кг.

### **Задачи для самостоятельного решения:**

20. К раствору, содержащему 66,6 г хлорида кальция, прибавили раствор, содержащий 32,8 г ортофосфата натрия. Определите массу выпавшего осадка и массы веществ, оставшихся в растворе.

21. Фосфор, полученный восстановлением 77,5 т руды, содержащей по массе 80 % фосфата кальция и 20 % невозстанавливаемых примесей, использовали для получения ортофосфорной кислоты. Определите массу полученной кислоты, если выход на всех стадиях процесса считать равным 100 %.

22. Какие массы водорода, азота и кислорода необходимо затратить для получения 150,8 кг азотной кислоты, если выход в реакции синтеза аммиака составляет 70 %, в реакции каталитического окисления аммиака до оксида азота (II) – 90 %, в реакции окисления оксида азота (II) до оксида азота (IV) – 100 % и в реакции оксида азота (IV) с водой и кислородом – 95 %.

## **1.2. Задачи с участием газов.**

### **1.2.1. Молярный объем газа ( $V_M$ ). Нормальные условия (н.у.).**

**Молярный объем газа – это объем, который занимает 1 моль газа**

$$V_M = V(\text{газа}) / n(\text{газа}); \quad V(\text{газа}) = n(\text{газа}) \cdot V_M; \quad n(\text{газа}) = V(\text{газа}) / V_M$$

$$\text{н.у.:} \quad P = 101,3 \text{ кПа}, \quad T = 0^\circ \text{C} = 273 \text{ К}, \quad V_M(\text{н.у.}) = 22,4 \text{ л}$$

$$\text{Объединенный газовый закон: } P_1 V_1 / T_1 = P_2 V_2 / T_2 = 101,3 \cdot V(\text{н.у.}) / 273$$

$$\text{Уравнение Менделеева – Клапейрона: } P V = n R T; \quad R = 8,31 \text{ Дж/(моль}\cdot\text{К)}$$

**Пример 17.** Определите массу 26,88 л кислорода при нормальных условиях.

Решение:

1) Находим количество вещества:  $\nu(\text{O}_2) = V(\text{O}_2) / V_M = 26,88 / 22,4 = 1,2$  моль.

2) Определяем массу кислорода:  $m(\text{O}_2) = \nu(\text{O}_2) \cdot M(\text{O}_2) = 1,2 \cdot 32 = 38,4$  г.

Ответ:  $m(\text{O}_2) = 38,4$  г.

**Пример 18.** Масса 15 л газа при 18 °С и при давлении 122 кПа равна 30,3 г. Определите молярную массу этого газа.

Решение:

1) Переводим температуру в Кельвины:  $T = 18 + 273 = 291$  К.

2) Приводим объем к нормальным условиям, используя объединенный газовый закон:

$$V(\text{н.у.}) = (P \cdot V \cdot 273) / (T \cdot 101,3) = (122 \cdot 15 \cdot 273) / (291 \cdot 101,3) = 499590 / 29478,3 = 16,95 \text{ л.}$$

3) Находим количество вещества и молярную массу газа:

$$\nu(\text{газа}) = V(\text{н.у.}) / V_M = 16,95 / 22,4 = 0,757 \text{ моль; } M(\text{газа}) = m(\text{газа}) / \nu(\text{газа}) = 30,3 / 0,757 = 40 \text{ г/моль.}$$

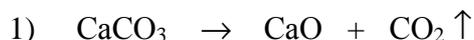
Задачу можно также решить, используя уравнение Менделеева – Клапейрона:

$$\nu(\text{газа}) = PV / RT = (122 \cdot 15) / (8,31 \cdot 291) = 1830 / 2418 = 0,757 \text{ моль.}$$

Ответ:  $M(\text{газа}) = 40$  г/моль.

**Пример 19.** В сосуд емкостью 5,6 л поместили 75 г карбоната кальция. Сосуд закрыли и нагревали при 400 °С до полного разложения соли. Определите давление в сосуде при этой температуре.

Решение:



$$\nu(\text{CO}_2) = \nu(\text{CaCO}_3) = m(\text{CaCO}_3) / M(\text{CaCO}_3) = 75 / 100 = 0,75 \text{ моль.}$$

2) Находим количество вещества воздуха, бывшего в сосуде:

$$\nu(\text{воздуха}) = V(\text{сосуда}) / 22,4 = 5,6 / 22,4 = 0,25 \text{ моль.}$$

3) Находим общее количество вещества газов в сосуде после разложения:

$$\nu(\text{газов}) = \nu(\text{воздуха}) + \nu(\text{CO}_2) = 0,75 + 0,25 = 1 \text{ моль.}$$

4)  $T = 400 + 273 = 673$  К;  $P = \nu RT / V = (1 \cdot 8,31 \cdot 673) / 5,6 = 998,7$  кПа.

Ответ:  $P = 998,7$  кПа.

### Задачи для самостоятельного решения

23. Какой объем (н.у.) займет метан (CH<sub>4</sub>), масса которого равна массе 40 л азота (н.у.)
24. В результате прокаливании некоторого количества нитрата меди выделилось 11,2 л газов (н.у.). Определите массу исходной соли.
25. После прокаливании 66,6 г некоторого карбоната образовалось 48 г оксида металла (II), в котором массовая доля металла составляет 80 %, 6,72 л газа и некоторое количество воды. Определите формулу исходной соли.
26. Оксид углерода (IV), находившийся в баллоне емкостью 2,8 л под давлением 2000 кПа при температуре 25 °С, пропустили через избыток раствора гидроксида натрия. Определите массу образовавшейся соли.

#### 1.2.2. Абсолютная (r) и относительная (D) плотность газа

$$r = m / V \text{ [г/л]}; \quad m = r \cdot V; \quad M(\text{газа}) = r \cdot V_M; \quad M(\text{газа}) = r(\text{н.у.}) \cdot 22,4$$

$$D_2 = r_1 / r_2 = M_1 / M_2; \quad M_1 = D_2 \cdot M_2$$

$$M(\text{газа}) = D_{\text{H}_2} \cdot 2 = D_{\text{N}_2} \cdot 28 = D_{\text{O}_2} \cdot 32 = D_{(\text{воздух})} \cdot 29$$

**Пример 20.** Плотность газа при н.у. составляет 3,615 г/л. определите молярную массу газа и его плотность по водороду и по воздуху.

Решение:

- 1) Находим молярную массу газа:  $M(\text{газа}) = \rho(\text{н.у.}) \cdot 22,4 = 3,615 \cdot 22,4 = 81 \text{ г/моль.}$
- 2) Находим плотность по водороду:  $D_{\text{H}_2} = M(\text{газа}) / M(\text{H}_2) = 81 / 2 = 40,5.$
- 3) Находим плотность по воздуху:  $D_{(\text{воздух})} = M(\text{газа}) / M(\text{воздуха}) = 81 / 29 = 2,79.$

Ответ:  $M(\text{газа}) = 81 \text{ г/моль}; D_{\text{H}_2} = 40,5; D_{(\text{воздух})} = 2,79.$

**Пример 21.** Предложите возможные структурные формулы углеводорода, плотность которого по воздуху 1,448.

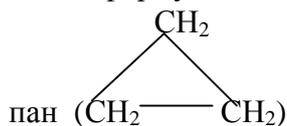
Решение:

$$\text{Формула } C_xH_y. \quad M(C_xH_y) = D_{(\text{воздух})} \cdot 29 = 1,448 \cdot 29 = 42 \text{ г/моль.}$$

Углеводород с такой молярной массой не может содержать более трех атомов углерода, так как иначе его молярная масса было бы больше 42. Он также не может содержать меньше трех атомов углерода, так как иначе число атомов водорода было бы слишком велико.

$$y = 42 - 12 \cdot 3 = 6. \quad \text{Формула углеводорода } C_3H_6.$$

Такой формуле соответствуют два углеводорода – пропен ( $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_3$ ) и циклопро-



Ответ: пропен и циклопропан.

**Пример 22.** Один и тот же сосуд поочередно заполняли при одинаковых условиях тремя различными газами, причем масса заполненного сосуда каждый раз составляла 832, 942 и 858 г соответственно. Определите молярную массу первого газа, если известно, что плотность второго газа по третьему равна 2,45, а плотность третьего газа по водороду – 14,5.

Решение:

1) Находим молярные массы третьего и второго газа:

$$M(3) = D_{\text{H}_2} \cdot M(\text{H}_2) = 14,5 \cdot 2 = 29 \text{ г/моль}; \quad M(2) = D_3 \cdot M(3) = 2,45 \cdot 29 = 71 \text{ г/моль}.$$

2) Поскольку объем газа во всех трех случаях был одинаковый, то и количества всех трех газов равны между собой. Пусть количество каждого газа равно  $x$ , а масса сосуда равна  $y$ , тогда масса третьего газа равна  $29x$ , а масса второго газа равна  $71x$ . Масса сосуда с газом во втором случае равна  $71x + y$ , а в третьем случае  $29x + y$ .

$$\begin{array}{l|l|l} 71x + y = 942 & 42x = 84 & y = 942 - 71 \cdot 2 = 800 \\ 29x + y = 858 & x = 2 & \end{array} \quad \begin{array}{l} v(\text{газа}) = 2 \text{ моль}; \\ m(\text{сосуда}) = 800 \text{ г}. \end{array}$$

3)  $m(\text{первого газа}) = 832 - 800 = 32 \text{ г}; \quad M(\text{первого газа}) = m(\text{первого газа}) / v(\text{газа}) = 32 / 2 = 16 \text{ г/моль}.$

Ответ:  $M(\text{первого газа}) = 16 \text{ г/моль}.$

### Задачи для самостоятельного решения

27. Плотность газа по воздуху равна 1,586. Определите что это за газ, если известно, что он состоит из двух элементов, а массовая доля кислорода как элемента в нем составляет 69,5%.

28. Плотность паров фосфора при  $400^\circ\text{C}$  и при давлении 101,3 кПа равна 2,246 г/л. Определите молекулярную формулу фосфора в этих условиях.

29. Определите плотность газовой смеси по водороду, состоящей из 3 л азота и 7 л углекислого газа.

30. В каких объемных отношениях находятся в смеси кислород и метан ( $\text{CH}_4$ ), если относительная плотность этой смеси по водороду равна 10.

31. В каких объемных отношениях находятся в смеси азот и водород, если 10 л этой смеси при н.у. имеют массу 8 г.

32. В результате термического разложения 37,8 г неизвестной соли образовалось 3,36 л (н.у.) газообразного простого вещества с плотностью по водороду 14, 10,8 г оксида неметалла (I), в котором массовая доля кислорода составляет 88,89 %, и оксид металла (III), в котором массовая доля металла составляет 68,42 %. Определите простейшую формулу исходной соли.

**1.2.3. Объемная (j) и молярная (c) доля газа в смеси. Средняя молярная масса газовой смеси (M<sub>ср.</sub>)**

$$j = \frac{V(\text{компонента смеси})}{V(\text{смеси})}; \quad c = \frac{n(\text{компонента смеси})}{\text{сумма } n \text{ всех компонентов смеси}};$$

$$j \% = j \cdot 100 \quad c \% = c \cdot 100$$

**M<sub>ср.</sub> = c<sub>1</sub> · M<sub>1</sub> + c<sub>2</sub> · M<sub>2</sub> + ..... по всем компонентам смеси. Для газов c = j .**

**M<sub>ср.</sub>(газа) = j<sub>1</sub> · M<sub>1</sub> + j<sub>2</sub> · M<sub>2</sub> + ..... по всем компонентам смеси.**

$$M_{\text{ср.}} = \frac{n_1 \cdot M_1 + n_2 \cdot M_2 + \dots}{n_1 + n_2 + \dots}; \quad M_{\text{ср.}}(\text{газа}) = \frac{V_1 \cdot M_1 + V_2 \cdot M_2 + \dots}{\text{общий объем газовой смеси}}$$

**Пример 23.** Определите молярные и объемные доли метана и водорода в их смеси, если массовая доля метана в ней составляет 80 %.

Решение:

1) Пусть имеется 100 г смеси, тогда  $m(\text{CH}_4) = 100 \cdot 0,8 = 80$  г.  $m(\text{H}_2) = 100 - 80 = 20$  г.

2) Определяем количества веществ газов:

$$v(\text{CH}_4) = m(\text{CH}_4) / M(\text{CH}_4) = 80 / 16 = 5 \text{ моль};$$

$v(\text{H}_2) = m(\text{H}_2) / M(\text{H}_2) = 20 / 2 = 10$  моль. Сумма  $v$  всех компонентов смеси = 5 + 10 = 15 моль.

3) Определяем молярные и объемные доли газов:

$$\varphi(\text{CH}_4) = \chi(\text{CH}_4) = v(\text{CH}_4) / \text{сумма } v \text{ всех компонентов смеси} = 5 / 15 = 0,333 \text{ (33,3 \%)}$$

$$\varphi(\text{H}_2) = \chi(\text{H}_2) = 1 - \chi(\text{CH}_4) = 1 - 0,333 = 0,667 \text{ (66,7 \%)}.$$

Ответ:  $\varphi(\text{CH}_4) = \chi(\text{CH}_4) = 33,3 \%$ ;  $\varphi(\text{H}_2) = \chi(\text{H}_2) = 66,7 \%$ .

**Пример 24.** Определите среднюю молярную массу газа, полученного в результате термического разложения нитрата свинца (II).

Решение:



Газовая смесь состоит из NO<sub>2</sub> и O<sub>2</sub>, причем согласно уравнению реакции из двух моль нитрата свинца образуются 4 моль оксида азота (IV) и 1 моль кислорода – всего 5 моль газов.

1) Рассчитываем молярные доли газов в этой смеси:

$$\chi(\text{NO}_2) = v(\text{NO}_2) / [v(\text{NO}_2) + v(\text{O}_2)] = 4 / 5 = 0,8.$$
$$\chi(\text{O}_2) = v(\text{O}_2) / [v(\text{NO}_2) + v(\text{O}_2)] = 1 / 5 = 0,2.$$

2) Определяем среднюю молярную массу газовой смеси:

$$M_{\text{ср.}} = \chi(\text{NO}_2) \cdot M(\text{NO}_2) + \chi(\text{O}_2) \cdot M(\text{O}_2) = 0,8 \cdot 46 + 0,2 \cdot 32 = 43,2 \text{ г/моль.}$$

Ответ:  $M_{\text{ср.}} = 43,2 \text{ г/моль.}$

**Пример 25.** Какие объемы этана и водорода, измеренные при нормальных условиях, надо взять, чтобы приготовить 20 л (н.у.) газовой смеси с плотностью по воздуху 0,5.

Решение:

1) Определяем среднюю молярную массу газовой смеси:

$$M_{\text{ср.}} = D_{\text{воздух}} \cdot 29 = 0,5 \cdot 29 = 14,5 \text{ г/моль.}$$

2) Рассчитываем исходные объемы газов, исходя из формулы для средней молярной массы:

$$14,5 = [V(\text{C}_2\text{H}_6) \cdot 30 + V(\text{H}_2) \cdot 2] / 20; 30 \cdot V(\text{C}_2\text{H}_6) + 2 \cdot V(\text{H}_2) = 14,5 \cdot 20 = 290.$$

$$\begin{array}{l} 30 \cdot V(\text{C}_2\text{H}_6) + 2 \cdot V(\text{H}_2) = 290 \\ V(\text{C}_2\text{H}_6) + V(\text{H}_2) = 20 \end{array} \quad \left| \cdot 2 \right. \quad \begin{array}{l} 30 \cdot V(\text{C}_2\text{H}_6) + 2 \cdot V(\text{H}_2) = 290 \\ 2 \cdot V(\text{C}_2\text{H}_6) + 2 \cdot V(\text{H}_2) = 40 \end{array}$$

$$28 \cdot V(\text{C}_2\text{H}_6) = 250; V(\text{C}_2\text{H}_6) = 8,93 \text{ л}; V(\text{H}_2) = 20 - V(\text{C}_2\text{H}_6) = 20 - 8,93 = 11,07 \text{ л.}$$

Ответ:  $V(\text{C}_2\text{H}_6) = 8,93 \text{ л}; V(\text{H}_2) = 11,07 \text{ л.}$

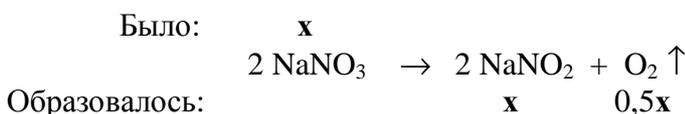
**Пример 26.** В сосуд емкостью 5,6 л, заполненный при нормальных условиях азотом, поместили 37 г смеси нитрата натрия и карбоната кальция. Сосуд закрыли и нагревали до полного разложения содержащихся в нем солей. Определите массы веществ в твердом остатке после прокаливания и состав (в % по объему) газовой смеси, находящейся в сосуде после разложения солей, если известно, что ее плотность по кислороду равна 1,08.

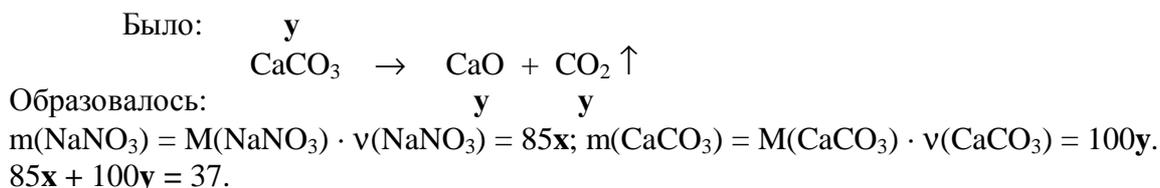
Решение:

1) Рассчитываем количество вещества азота, находившегося в сосуде и среднюю молярную массу образовавшейся газовой смеси:

$$v(\text{N}_2) = V(\text{N}_2) / 22,4 = 5,6 / 22,4 = 0,25 \text{ моль. } M_{\text{ср.}} = D_{\text{O}_2} \cdot M(\text{O}_2) = 1,08 \cdot 32 = 34,56 \text{ г/моль.}$$

2) Пусть в исходной смеси было  $x$  моль нитрата натрия и  $y$  моль карбоната кальция.





3)  $v(\text{газов в образовавшейся смеси}) = v(\text{N}_2) + v(\text{O}_2) + v(\text{CO}_2) = 0,25 + 0,5x + y$ .

$$M_{\text{ср.}} = [0,25 \cdot 28 + 0,5x \cdot 32 + y \cdot 44] / 34,56 = 0,25 + 0,5x + y; 28 \cdot 0,25 + 32 \cdot 0,5x + 44 \cdot y = 34,56 \cdot (0,25 + 0,5x + y); 8,64 + 17,28x + 34,56y = 7 + 16x + 44y; 1,28x - 9,44y = - 1,64$$

4) Составляем систему уравнений и решаем ее:

$$\begin{array}{l|l|l} 85x + 100y = 37 & 85x + 100y = 37 & 727y = 145,9 \\ 1,28x - 9,44y = - 1,64 & \cdot 85 / 1,28 & 85x - 627y = - 108,9 & y = 0,2 \end{array}$$

$$x = (37 - 20) / 85 = 0,2.$$

5) Находим объемные доли газов в смеси и массы образовавшихся твердых продуктов:

$$v(\text{газов в образовавшейся смеси}) = 0,25 + 0,5x + y = 0,25 + 0,1 + 0,2 = 0,55$$

$$\varphi(\text{N}_2) = \chi(\text{N}_2) = 0,25 / 0,55 = 0,4545 (45,45 \%);$$

$$\varphi(\text{O}_2) = \chi(\text{O}_2) = 0,1 / 0,55 = 0,1818 (18,18 \%);$$

$$\varphi(\text{CO}_2) = \chi(\text{CO}_2) = 0,2 / 0,55 = 0,3636 (36,36 \%);$$

$$m(\text{NaNO}_2) = M(\text{NaNO}_2) \cdot x = 69 \cdot 0,2 = 13,8 \text{ г}; m(\text{CaO}) = M(\text{CaO}) \cdot y = 56 \cdot 0,2 = 11,2 \text{ г}.$$

Ответ:  $\varphi(\text{N}_2) = 45,45 \%$ ;  $\varphi(\text{O}_2) = 18,18 \%$ ;  $\varphi(\text{CO}_2) = 36,36 \%$ ;  $m(\text{NaNO}_2) = 13,8 \text{ г}$ ;  $m(\text{CaO}) = 11,2 \text{ г}$ .

### Задачи для самостоятельного решения

33. 12,32 л смеси оксида азота (II) и оксида азота (IV) при н.у. имеют массу 19,855 г. Определите объемные доли газов в смеси.

34. К 20 л смеси метана и этилена добавили 10 л кислорода. Определите объемные доли веществ в полученной газовой смеси, если известно, что ее плотность по воздуху равна 0,8046.

35. Определите среднюю молярную массу газа, полученного в результате термического разложения нитрата серебра.

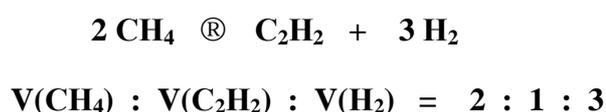
36. В результате термического разложения смеси нитратов серебра и меди образовалась газовая смесь с плотностью по воздуху 1,4655. Определите массовые доли веществ в исходной смеси солей.

37. Газовая смесь, образовавшаяся при прокаливании смеси карбоната кальция и нитрата меди, имеет плотность по водороду 21,647. Определите массовые доли веществ в остатке после прокалывания.

38. В результате термического разложения смеси нитратов калия и меди выделилось 8,4 л газа (н.у.). Определите массу исходной смеси солей, если известно, что в ней массовая доля азота как элемента составляла 14,302 %.
39. В результате термического разложения 45 г нитрата неизвестного металла образовалось 20 г оксида металла (III), в котором массовая доля металла составляла 70 %, и газовая смесь с плотностью 1,984 г/л (н.у.). Определите формулу исходной соли и запишите уравнение реакции ее разложения.
40. В результате сжигания 9,76 г органического вещества в избытке кислорода образовалось 10,08 г воды и 8,96 л (н.у.) смеси углекислого газа с азотом с плотностью по кислороду 1,275. Предложите структурную формулу сожженного вещества, если известно, что его молярная масса меньше 80 г/моль.
41. Соль органической кислоты сожгли в 9,8 л (н.у.) кислорода, при этом образовалось 7,29 г воды и 8,288 л (н.у.) смеси трех газов. После пропускания этой газовой смеси через избыток раствора щелочи ее объем уменьшился на 6,048 л, а оставшаяся азото-кислородная смесь имела плотность 1,3482 г/л. Определите формулу сожженного вещества.
42. Образец аминокислоты, входящей в состав белков массой 4,68 г сожгли в избытке кислорода. После приведения продуктов сгорания к н.у. выделилось 3,96 г воды и осталось 5,376 л газовой смеси, объем которой уменьшился в 6 раз после пропускания через избыток раствора щелочи. Не поглощенная щелочью смесь газов имела плотность по водороду 15. Определите формулу сожженной аминокислоты.

#### 1.2.4. Расчеты по уравнениям реакций с участием газов

**Объемы газов, вступающих в химическую реакцию и образующихся в результате этой реакции, измеренные при одинаковых условиях, соотносятся как коэффициенты в уравнении реакции, например:**



**Пример 27.** 2 л метиламина ( $\text{CH}_3\text{NH}_2$ ) смешали с 6 л кислорода при нормальных условиях и подожгли. Определите плотность, и объем образовавшейся газовой смеси после приведения ее к нормальным условиям.

Решение:

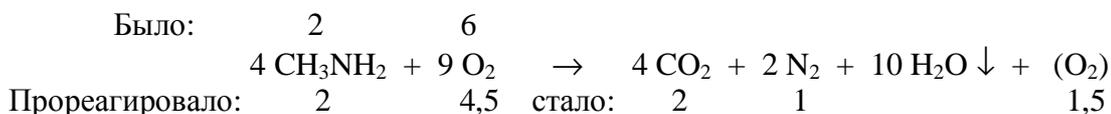


1) Определяем, какое вещество было в избытке, и какое в недостатке. Для этого объемы исходных газов делим на коэффициенты в уравнении реакции, и полученные цифры сравниваем между собой:

$2 / 4 = 0,5$ ;  $6 / 9 = 0,667$ ;  $0,667 > 0,5$ . Следовательно, кислород был в избытке, а метиламин в недостатке.

2) Расчет ведем по веществу, бывшему в недостатке, т.е. по метиламину. Согласно уравнению реакции 4 объема метиламина реагируют с 9 объемами кислорода с об-

разованием 4 объемов оксида углерода (IV) и 2 объемов азота (вода при приведении к нормальным условиям конденсируется в жидкость). Таким образом, объем образовавшегося  $\text{CO}_2$  равен объему сгоревшего метиламина (2 л), объем образовавшегося азота в два раза меньше (1 л), объем прореагировавшего кислорода в 4 / 9 раза больше объема метиламина ( $2,25 \cdot 2 = 4,5$  л). Кислорода осталось ( $6 - 4,5 = 1,5$  л).



3) Конечная газовая смесь содержит 2 л  $\text{CO}_2$ , 1 л  $\text{N}_2$  и 1,5 л  $\text{O}_2$ .

$$V(\text{конечной газовой смеси}) = V(\text{CO}_2) + V(\text{N}_2) + V(\text{O}_2) = 2 + 1 + 1,5 = 4,5 \text{ л.}$$

4) Определяем среднюю молярную массу, и плотность конечной газовой смеси:

$$M_{\text{ср.}} = \varphi(\text{CO}_2) \cdot M(\text{CO}_2) + \varphi(\text{N}_2) \cdot M(\text{N}_2) + \varphi(\text{O}_2) \cdot M(\text{O}_2) = (2 / 4,5) \cdot 44 + (1 / 4,5) \cdot 28 + (1,5 / 4,5) \cdot 32 = 36,44 \text{ г/моль.}$$

$$\rho = M_{\text{ср.}} / 22,4 = 36,44 / 22,4 = 1,627 \text{ г/л.}$$

Ответ:  $V(\text{конечной газовой смеси}) = 4,5$  л;  $\rho = 1,627$  г/л.

**Пример 28.** После пропускания оксида углерода (IV) над раскаленным углем образовалась газовая смесь с плотностью по водороду 16. Определите выход оксида углерода (II) в этой реакции.

Решение:



1) Определяем среднюю молярную массу образовавшегося газа, и объемные доли газов в конечной смеси:

$$\begin{aligned} M_{\text{ср.}} &= 16 \cdot 2 = 32 \text{ г/моль.} \quad \varphi(\text{CO}_2) \cdot 44 + \varphi(\text{CO}) \cdot 28 = 32; \quad \varphi(\text{CO}) = 1 - \varphi(\text{CO}_2); \\ \varphi(\text{CO}_2) \cdot 44 + 28 \cdot (1 - \varphi(\text{CO}_2)) &= 32; \quad 16 \cdot \varphi(\text{CO}_2) = 4; \quad \varphi(\text{CO}_2) = 0,25; \\ \varphi(\text{CO}) &= 1 - 0,25 = 0,75. \end{aligned}$$

2) Допустим, что образовался 1 л газовой смеси, тогда  $V(\text{CO}_2)$  в ней = 0,25 л, а  $V(\text{CO}) = 0,75$  л. Согласно коэффициентам в уравнении реакции объем прореагировавшего  $\text{CO}_2$  в 2 раза меньше объема образовавшегося  $\text{CO}$ :

$$V(\text{прореагировавшего CO}_2) = 0,75 / 2 = 0,375 \text{ л.}$$

Общий объем исходного  $\text{CO}_2 = V(\text{прореагировавшего CO}_2) + V(\text{CO}_2 \text{ в конечной газовой смеси}) = 0,375 + 0,25 = 0,625 \text{ л.}$

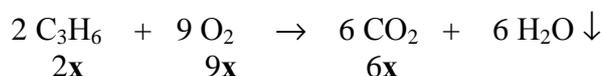
Из 0,625 л  $\text{CO}_2$  теоретически может образоваться  $0,625 \cdot 2 = 1,25$  л  $\text{CO}$ .

$$\text{Выход} = V(\text{CO практически полученный}) / V(\text{CO теоретически возможный}) = 0,75 / 1,25 = 0,6 \text{ (60 \%)}$$

Ответ: Выход  $\text{CO}$  составляет 60 %.

**Пример 29.** Некоторое количество пропена смешали с избытком кислорода и подожгли. Объем полученной газовой смеси оказался на 2,5 л меньше объема исходной смеси пропена с кислородом (все объемы измерены при н.у.). Определите объемы сгоревшего пропена, прореагировавшего кислорода и образовавшегося оксида углерода (IV).

Решение:



Согласно уравнению реакции 2 объема пропена реагируют с 9 объемами кислорода, образуя 6 объемов оксида углерода (IV). Общее изменение объема газовой смеси в результате реакции равно 5 объемов.

$$\Delta V = 2x + 9x - 6x = 5x; \quad 5x = 2,5 \text{ л}; \quad x = 2,5 / 5 = 0,5 \text{ л.}$$

$$V(\text{сгоревшего пропена}) = 2x = 0,5 \cdot 2 = 1 \text{ л};$$

$$V(\text{прореагировавшего кислорода}) = 9x = 0,5 \cdot 9 = 4,5 \text{ л};$$

$$V(\text{образовавшегося CO}_2) = 6x = 0,5 \cdot 6 = 3 \text{ л.}$$

Ответ:  $V(\text{сгоревшего пропена}) = 1 \text{ л}; V(\text{прореагировавшего кислорода}) = 4,5 \text{ л}; V(\text{образовавшегося CO}_2) = 3 \text{ л.}$

**Пример 30.** В результате пропускания воздуха через озонатор его плотность увеличилась на 3 %. Определите объемную долю озона в озонированном воздухе.

Решение:



$$1) \quad \rho(\text{озонированного воздуха}) = \rho(\text{исходного воздуха}) + 0,03 \cdot \rho(\text{исходного воздуха}) = 1,03 \cdot \rho(\text{исходного воздуха})$$

$$\rho(\text{озонированного воздуха}) = m(\text{газа}) / V(\text{озонированного воздуха});$$

$$\rho(\text{исходного воздуха}) = m(\text{газа}) / V(\text{исходного воздуха})$$

$$m(\text{газа}) / V(\text{озонированного воздуха}) = 1,03 \cdot m(\text{газа}) / V(\text{исходного воздуха})$$

Поскольку в результате реакции масса газа не изменяется,  $V(\text{исходного воздуха}) = 1,03 \cdot V(\text{озонированного воздуха})$ .

2) Пусть объем озонированного воздуха равен 1 л, тогда объем исходного воздуха был 1,03 л, и изменение объема составило 0,03 л.

$$\Delta V = 3x - 2x = x; \quad V(\text{O}_3) = 2x = 2 \cdot \Delta V = 0,03 \cdot 2 = 0,06 \text{ л}$$

$$\phi(\text{O}_3) = V(\text{O}_3) / V(\text{озонированного воздуха}) = 0,06 / 1 = 0,06 (6 \%)$$

Ответ:  $\phi(\text{O}_3) = 6 \%$ .

### Задачи для самостоятельного решения

43. Смесь аммиака с кислородом с плотностью по водороду 13 пропустили над платино-родиевым катализатором. Определите состав полученной газовой смеси в % по объему после удаления паров воды, если считать, что каталитическое окисление аммиака протекает с выходом 100%.
44. После пропускания смеси 5 л азота с 7 л водорода над железным катализатором объем газовой смеси уменьшился на 2 л. Определите плотность конечной газовой смеси по водороду. Все объемы измерены при одинаковых условиях.
45. Смесь этиламина ( $C_2H_5NH_2$ ) с избытком кислорода подожгли. После приведения к нормальным условиям объем газовой смеси уменьшился на 36 %. Определите объемные доли веществ в конечной газовой смеси.
46. Смесь кислорода с азотом пропустили через озонатор, при этом объем газовой смеси уменьшился на 10%, а ее плотность стала 1,508 г/л. Определите состав исходной смеси азота с кислородом в % по объему.
47. После пропускания смеси этилена ( $CH_2=CH_2$ ) и водорода над никелевым катализатором плотность газа возросла на 25%. Полученный газ не обесцвечивает бромную воду. Определите объемные доли веществ в конечной газовой смеси.
48. Смесь бутана с кислородом объемом 14 л (н.у.) подожгли. После приведения к нормальным условиям объем газовой смеси стал 8,75 л. Определите составы исходной и конечной газовой смесей в % по объему, если известно, что кислород был в избытке.
49. После сжигания смеси этиламина с избытком кислорода и приведения к нормальным условиям масса газов уменьшилась на 2,52 г, а объем их стал 3,36 л. Определите объемные составы (в литрах) исходной и конечной газовой смесей.
50. Смесь азота с кислородом объемом 15,68 л и с плотностью 1,378 г/л (н.у.) пропустили через озонатор. Рассчитайте состав газовой смеси после озонатора в % по объему, если известно, что ее плотность по водороду равнялась 16.
51. 100 мл смеси азота, метана и метиламина при нормальных условиях смешали с 300 мл кислорода и подожгли. После приведения к н.у. объем газовой смеси составил 227,5 мл, а после ее пропускания через избыток раствора щелочи он уменьшился до 142,5 мл. Определите объемные доли газов в исходной смеси.
52. 11,2 л (н.у.) метана нагрели до высокой температуры. При этом часть метана разложилась, в результате чего образовалась газовая смесь объемом 20,16 л и плотностью 0,2778 г/л (н.у.). После пропускания над никелевым катализатором ее объем уменьшился на 22,22 %. Определите объемные доли газов в конечной газовой смеси, если известно, что она не обесцвечивает бромную воду.

### 1.3. Растворы

#### 1.3.1. Массовая доля растворенного вещества (w), молярная концентрация раствора (C)

$$w = \frac{m(\text{растворенного вещества})}{m(\text{раствора})}; \quad w \% = w \cdot 100$$
$$C = \frac{n(\text{растворенного вещества})}{V(\text{раствора})} [\text{моль/л}]; \quad C = \frac{1000 \cdot \rho \cdot w}{M}$$

**Пример 31.** Определите молярную концентрацию и массовую долю хлорида натрия в растворе, полученном растворением 14,63 г сухой соли в 100 мл воды (плотность раствора 1,146 г/мл).

Решение:

1) Находим массу раствора:

$$m(\text{раствора}) = m(\text{растворенного вещества}) + m(\text{растворителя}); m(\text{H}_2\text{O}) = V \cdot \rho = 100 \cdot 1 = 100 \text{ г}$$

$$m(\text{раствора}) = m(\text{NaCl}) + m(\text{H}_2\text{O}) = 14,63 + 100 = 114,63 \text{ г}$$

2)  $\omega(\text{NaCl}) = m(\text{NaCl}) / m(\text{раствора}) = 14,63 / 114,63 = 0,1276$  (12,76 %)

3) Находим объем раствора, и количество вещества соли:

$$V(\text{раствора}) = m(\text{раствора}) / \rho(\text{раствора}) = 114,63 / 1,146 = 100 \text{ мл} = 0,1 \text{ л.}$$

$$v(\text{NaCl}) = m(\text{NaCl}) / M(\text{NaCl}) = 14,63 / 58,5 = 0,25 \text{ моль.}$$

4)  $C(\text{NaCl}) = v(\text{NaCl}) / V(\text{раствора}) = 0,25 / 0,1 = 2,5 \text{ моль/л.}$

Ответ:  $\omega(\text{NaCl}) = 12,76 \%$ ;  $C(\text{NaCl}) = 2,5 \text{ моль/л.}$

**Пример 32.** Какие массы хлорида калия и воды надо взять для приготовления 80 г раствора с массовой долей соли 0,2?

Решение:

1)  $m(\text{KCl}) = m(\text{раствора}) \cdot \omega(\text{KCl}) = 80 \cdot 0,2 = 16 \text{ г.}$

2)  $m(\text{H}_2\text{O}) = m(\text{раствора}) - m(\text{KCl}) = 80 - 16 = 64 \text{ г.}$

Ответ:  $m(\text{KCl}) = 16 \text{ г; } m(\text{H}_2\text{O}) = 64 \text{ г.}$

**Пример 33.** Какую массу медного купороса можно получить упариванием 300 мл раствора сульфата меди с массовой долей сульфата меди 15% и плотностью 1,15 г/мл?

Решение:

1) Находим массу раствора:

$$m(\text{раствора}) = V(\text{раствора}) \cdot \rho(\text{раствора}) = 300 \cdot 1,15 = 345 \text{ г.}$$

2) Находим массу растворенного сульфата меди:

$$m(\text{CuSO}_4) = m(\text{раствора}) \cdot \omega(\text{CuSO}_4) = 345 \cdot 0,15 = 51,75 \text{ г.}$$

3) Находим количество вещества сульфата меди:

$$v(\text{CuSO}_4) = m(\text{CuSO}_4) / M(\text{CuSO}_4) = 51,75 / 160 = 0,3234 \text{ моль.}$$

В одном моле медного купороса ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$ ) содержится 1 моль сульфата меди, поэтому

$$v(\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}) = v(\text{CuSO}_4) = 0,3234 \text{ моль.}$$

4) Находим массу медного купороса:

$$m(\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}) = v(\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}) \cdot M(\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}) = 0,3234 \cdot 250 = 80,85 \text{ г.}$$

Ответ :  $m(\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}) = 80,85 \text{ г.}$

**Пример 34.** Какие объемы воды и раствора серной кислоты с массовой долей кислоты 90% и плотностью 1,7 г/мл необходимо взять для приготовления 120 мл раствора с массовой долей кислоты 40% и плотностью 1,35 г/мл?

Решение:

1) Находим массу конечного раствора:

$$m(\text{конечного раствора}) = V(\text{конечного раствора}) \cdot \rho(\text{конечного раствора}) = 120 \cdot 1,35 = 162 \text{ г.}$$

2) Находим массу серной кислоты в конечном растворе:

$$m(\text{H}_2\text{SO}_4) = \omega(\text{H}_2\text{SO}_4 \text{ в конечном растворе}) \cdot m(\text{конечного раствора}) = 0,4 \cdot 162 = 64,8 \text{ г.}$$

3) Находим массу и объем исходного раствора, учитывая, что масса  $\text{H}_2\text{SO}_4$  в конечном и исходном растворах равны, поскольку к исходному раствору добавляли только воду:

$$m(\text{исходного раствора}) = m(\text{H}_2\text{SO}_4) / \omega(\text{H}_2\text{SO}_4 \text{ в исходном растворе}) = 64,8 / 0,9 = 72 \text{ г.}$$

$$V(\text{исходного раствора}) = m(\text{исходного раствора}) / \rho(\text{исходного раствора}) = 72 / 1,7 = 42,35 \text{ мл.}$$

4) Находим массу воды:

$$m(\text{воды}) = m(\text{конечного раствора}) - m(\text{исходного раствора}) = 162 - 72 = 90 \text{ г.}$$

Плотность воды 1 г/мл, поэтому  $V(\text{H}_2\text{O}) = 90 \text{ мл.}$

Ответ:  $V(\text{исходного раствора}) = 42,35 \text{ мл; } V(\text{H}_2\text{O}) = 90 \text{ мл.}$

**Пример 35.** Какой объем раствора хлорида натрия с массовой долей соли 20% и плотностью 1,15 г/мл надо прилить к 200 г воды, чтобы получить раствор с массовой долей соли 0,07?

Решение:

- 1) Обозначим массу исходного раствора за  $x$ , тогда масса хлорида натрия в нем будет равна:

$$m(\text{NaCl}) = m(\text{исходного раствора}) \cdot \omega(\text{NaCl}) = 0,2x.$$

- 2) Выражаем массу конечного раствора:

$$m(\text{конечного раствора}) = m(\text{исходного раствора}) + m(\text{H}_2\text{O}) = x + 200.$$

- 3) Составляем уравнение и находим  $x$ :

$$m(\text{NaCl}) = m(\text{конечного раствора}) \cdot \omega(\text{NaCl в конечном растворе}); 0,2x = 0,07 \cdot (x + 200);$$

$$0,2x = 0,07x + 14; 0,13x = 14; x = 107,7 \text{ г.}$$

- 4) Находим объем исходного раствора:

$$V(\text{исходного раствора NaCl}) = m(\text{исходного раствора}) / \rho(\text{исходного раствора}) = 107,7 / 1,15 = 93,7 \text{ мл.}$$

Ответ:  $V(\text{исходного раствора NaCl}) = 93,7 \text{ мл.}$

**Пример 36.** Какие массы растворов с массовыми долями гидроксида натрия 0,4 и 0,15 необходимо смешать для получения 500 г раствора с массовой долей гидроксида натрия 30%?

Решение:

- 1) Обозначим массу первого исходного раствора за  $x$ , тогда масса гидроксида натрия в нем составит:

$$m(\text{NaOH в первом исходном растворе}) = m(\text{раствора}) \cdot \omega(\text{NaOH}) = 0,4x.$$

- 2) Обозначим массу второго исходного раствора за  $y$ , тогда масса гидроксида натрия в нем составит:

$$m(\text{NaOH во втором исходном растворе}) = m(\text{раствора}) \cdot \omega(\text{NaOH}) = 0,15y.$$

- 3) Найдем массу гидроксида натрия в конечном растворе:

4)

$$m(\text{NaOH в конечном растворе}) = m(\text{раствора}) \cdot \omega(\text{NaOH}) = 500 \cdot 0,3 = 150 \text{ г.}$$

- 5) Масса конечного раствора равна сумме масс исходных растворов:

$$x + y = 500$$

- 6) Масса гидроксида натрия в конечном растворе равна сумме масс гидроксида натрия в двух исходных растворах:

$$0,4x + 0,15y = 150$$

7) Составляем систему уравнений и решаем ее:

$$\begin{array}{l|l} x + y = 500 & \\ 0,4x + 0,15y = 150 & \cdot 2,5 \end{array} \quad \begin{array}{l|l} x + y = 500 & \\ x + 0,375y = 375 & \end{array} \quad \begin{array}{l|l} 0,625y = 125 & \\ y = 200 & \end{array} \quad \begin{array}{l} x = 300 \end{array}$$

Ответ: Масса первого исходного раствора = 300 г; масса второго исходного раствора = 200 г

**Пример 37.** Определите массовую долю серной кислоты в растворе, полученном растворением 20 г 10%-ного олеума в 40г 20%-ной серной кислоты.

Решение:

Олеум – это раствор оксида серы (VI) в чистой серной кислоте. При растворении олеума в водном растворе серной кислоты происходит следующая реакция:



1) Определяем состав олеума и количество вещества оксида серы (VI) в нем:

$$m(\text{SO}_3) = m(\text{олеума}) \cdot \omega(\text{SO}_3) = 20 \cdot 0,1 = 2 \text{ г}; m(\text{H}_2\text{SO}_4 \text{ в олеуме}) = 20 - 2 = 18 \text{ г};$$

$$v(\text{SO}_3) = m(\text{SO}_3) / M(\text{SO}_3) = 2 / 80 = 0,025 \text{ моль.}$$

2) Определяем массу серной кислоты, образовавшейся из  $\text{SO}_3$ :

$$\text{Согласно уравнению реакции } v(\text{образовавшейся } \text{H}_2\text{SO}_4) = v(\text{SO}_3) = 0,025 \text{ моль}$$

$$m(\text{образовавшейся } \text{H}_2\text{SO}_4) = v(\text{образовавшейся } \text{H}_2\text{SO}_4) \cdot M(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,025 \cdot 98 = 2,45 \text{ г}$$

3) Определяем массу серной кислоты в исходном растворе:

$$m(\text{H}_2\text{SO}_4 \text{ в исходном растворе}) = m(\text{исходного раствора}) \cdot \omega(\text{H}_2\text{SO}_4 \text{ в исходном растворе}) = 40 \cdot 0,2 = 8 \text{ г.}$$

4) Определяем общую массу серной кислоты в конечном растворе:

$$m(\text{H}_2\text{SO}_4 \text{ в конечном растворе}) = m(\text{H}_2\text{SO}_4 \text{ в олеуме}) + m(\text{образовавшейся } \text{H}_2\text{SO}_4) + m(\text{H}_2\text{SO}_4 \text{ в исходном растворе}) = 18 + 2,45 + 8 = 28,45 \text{ г.}$$

5) Определяем массу конечного раствора и массовую долю серной кислоты в конечном растворе:

$$m(\text{конечного раствора}) = m(\text{олеума}) + m(\text{исходного раствора}) = 20 + 40 = 60 \text{ г.}$$

$$\omega(\text{H}_2\text{SO}_4 \text{ в конечном растворе}) = m(\text{H}_2\text{SO}_4 \text{ в конечном растворе}) / m(\text{конечного раствора}) = 28,45 / 60 = 0,474 (47,4 \%)$$

Ответ:  $\omega(\text{H}_2\text{SO}_4 \text{ в полученном растворе}) = 47,4 \%$ .

### Задачи для самостоятельного решения

53. Определите молярную концентрацию сульфата натрия в растворе с массовой долей соли 8% и плотностью 1,09 г/мл.
54. Какие массы воды и медного купороса необходимо взять для приготовления 2 л раствора с молярной концентрацией сульфата меди 0,9 моль/л и плотностью 1,1 г/мл?
55. Сколько мл раствора сульфата меди с массовой долей соли 5% и плотностью 1,05 г/мл надо взять для растворения 75 г медного купороса, чтобы получить раствор с массовой долей сульфата меди 0,2%?
56. Какие массы кристаллической соды ( $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) и 5%-ного раствора карбоната натрия надо взять для приготовления 500 мл раствора с массовой долей карбоната натрия 12% и плотностью 1,125 г/мл?
57. Какие объемы растворов серной кислоты с массовыми долями кислоты 20 и 50 % и плотностями 1,14 и 1,39 г/мл соответственно надо смешать, чтобы получить 1 л раствора серной кислоты с плотностью 1,219 г/мл, 10 г которого может поглотить 1,344 л аммиака.
58. Какие объемы растворов гидроксида калия с массовыми долями щелочи 15 и 45 % и плотностями 1,14 и 1,46 г/мл соответственно надо смешать, чтобы получить 100 г раствора гидроксида калия с плотностью 1,2 г/мл, 10 мл которого могут максимально поглотить 1,344 л оксида углерода (IV).
59. Какой объем раствора азотной кислоты с массовой долей кислоты 55% и плотностью 1,34 г/мл можно получить из 1 м<sup>3</sup> (н.у.) аммиака, если выход при каталитическом окислении аммиака составляет 98%, а выход кислоты в поглотительных колоннах — 94%?
60. Какую массу фосфорного ангидрида (оксида фосфора (V)) надо растворить в 300 г 20%-ной фосфорной кислоты, чтобы получить раствор с массовой долей фосфорной кислоты 50 %.
61. Какой объем оксида серы (IV) надо затратить, чтобы получить олеум с массовой долей оксида серы (VI) 20 % из 39,28 мл раствора серной кислоты с массовой долей кислоты 95 % и плотностью 1,833 г/мл, если известно, что превращение оксида серы (IV) в оксид серы (VI) происходит с выходом 75 %.
62. Какую массу оксида фосфора (V) надо растворить в 1 л раствора фосфорной кислоты с плотностью 1,2 г/мл, чтобы ее массовая доля удвоилась, если известно, что для полной нейтрализации 10 г полученного раствора потребовалось 35 мл раствора гидроксида калия с массовой долей щелочи 20 % и плотностью 1,2 г/мл.
63. К 39 мл раствора хлорида бария с массовой долей соли 20 % и плотностью 1,2 г/мл добавили 58,66 г раствора фосфата натрия с концентрацией 0,75 моль/л и плотностью 1,1 г/мл. Определите массу выпавшего осадка и массовые доли веществ в полученном растворе.
64. К 108 мл раствора нитрата цинка с массовой долей соли 12 % и плотностью 1,05 г/мл добавили 72 г раствора фосфата аммония с концентрацией 0,9 моль/л и плотностью 1,08 г/мл. Определите массу выпавшего осадка и массовые доли веществ в полученном растворе.
65. К 95,36 мл раствора хлорида алюминия с массовой долей соли 15 % и плотностью 1,12 г/мл добавили 192 г раствора гидроксида натрия с концентрацией 2,5 моль/л и

плотностью 1,2 г/мл. Определите массу выпавшего осадка и массовые доли веществ в полученном растворе.

66. К 28,08 мл раствора нитрата ртути с массовой долей соли 25 % и плотностью 1,25 г/мл добавили 19,67 г раствора фосфата калия с концентрацией 1,2 моль/л и плотностью 1,18 г/мл. Определите массу выпавшего осадка и массовые доли веществ в полученном растворе.
67. К 250 мл раствора сульфата хрома (III) с массовой долей соли 14 % и плотностью 1,12 г/мл добавили 222 г раствора силиката натрия с концентрацией 0,75 моль/л и плотностью 1,11 г/мл. Определите массу выпавшего осадка и массовые доли веществ в полученном растворе.
68. 23,2 г неизвестной неорганической соли при нагревании полностью разложились без твердого остатка. Образовавшуюся смесь двух газов с парами воды пропустили через 52,44 мл раствора соляной кислоты с массовой долей кислоты 30 % и плотностью 1,16 г/мл, после чего осталось 4,48 л (н.у.) газообразного оксида элемента (IV) с плотностью по аргону 1,6, а массовая доля кислоты в растворе уменьшилась до 5,124 %. Определите формулу исходной соли.
69. В результате растворения 9,84 г неизвестной соли, состоящей из трех элементов, в 50,89 мл соляной кислоты с массовой долей хлороводорода 36,5 % и плотностью 1,179 г/мл образовался раствор, содержащий только хлорид натрия с массовой долей 10,05 %, хлорид металла (III), в котором массовая доля металла составляет 20,22 % и хлороводород с массовой долей 6,27 %. Определите простейшую формулу исходной соли.
70. Смесь веществ, образовавшуюся после сжигания образца гомолога фенола в 1,792 л (н.у.) кислорода, пропустили через 100 мл раствора гидроксида бария с плотностью 1,05 г/мл и молярной концентрацией щелочи 0,6 моль/л, в результате чего из раствора выпало 8,274 г осадка и масса раствора стала равной 99,006 г. Объем не поглощенного щелочью газа составил 649,6 мл (н.у.). Определите возможные структурные формулы сожженного вещества.

### 1.3.2. Растворимость (s) и коэффициент растворимости (S)

**Растворимость (s) показывает, сколько грамм вещества максимально можно растворить в 100 г растворителя. Коэффициент растворимости (S) показывает, сколько грамм вещества можно растворить в 1 л растворителя:**

$$S = \frac{m(\text{растворенного вещества в насыщенном растворе})}{V(\text{растворителя})} \quad [\text{г/л}]$$

**Для водных растворов  $V(\text{растворителя}) = m(\text{H}_2\text{O})$  в кг:**

**Для двухкомпонентного раствора (одно растворенное вещество + вода)**

$$w(\text{вещества в насыщенном растворе}) = S / (1000 + S)$$

**Пример 38.** Коэффициент растворимости хлорида аммония в воде при 15°C равен 350 г/л. Определите массовую долю и молярную концентрацию хлорида аммония в насыщенном растворе, если его плотность равна 1,08 г/мл.

Решение:

1)  $\omega(\text{NH}_4\text{Cl}) = S / (1000 + S) = 350 / (1000 + 350) = 350 / 1350 = 0,259 (25,9 \%)$

2) Пусть масса растворенного вещества 350 г, тогда:

$$m(\text{раствора}) = m(\text{растворенного вещества}) + m(\text{растворителя}) = 350 + 1000 = 1350 \text{ г.}$$

$$V(\text{раствора}) = m(\text{раствора}) / \rho(\text{раствора}) = 1350 / 1,08 = 1250 \text{ мл} = 1,25 \text{ л.}$$

$$\nu(\text{NH}_4\text{Cl}) = m(\text{NH}_4\text{Cl}) / M(\text{NH}_4\text{Cl}) = 350 / 53,5 = 6,54 \text{ моль.}$$

$$C(\text{NH}_4\text{Cl}) = \nu(\text{NH}_4\text{Cl}) / V(\text{раствора}) = 6,54 / 1,25 = 5,23 \text{ моль/л}$$

Ответ:  $\omega(\text{NH}_4\text{Cl}) = 25,9 \%$ ;  $C(\text{NH}_4\text{Cl}) = 5,23 \text{ моль/л.}$

**Пример 39.** Определите коэффициент растворимости медного купороса, если известно, что массовая доля сульфата меди в насыщенном растворе при данной температуре равна 17,2%.

Решение:

1) Пусть имеется 100 г насыщенного раствора. Определяем массу сульфата меди в этом растворе:

$$m(\text{CuSO}_4) = m(\text{раствора}) \cdot \omega(\text{CuSO}_4) = 100 \cdot 0,172 = 17,2 \text{ г.}$$

2) Определяем массу медного купороса, соответствующую 17,2 г сульфата меди:

$$m(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = [m(\text{CuSO}_4) / M(\text{CuSO}_4)] \cdot M(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = (17,2 / 160) \cdot 250 = 26,9 \text{ г.}$$

3) Определяем объем воды, который надо добавить к 26,9 г медного купороса, чтобы получить 100 г насыщенного раствора:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = m(\text{раствора}) - m(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = 100 - 26,9 = 73,1 \text{ г. } V(\text{H}_2\text{O}) = 73,1 \text{ мл} = 0,0731 \text{ л.}$$

4) Рассчитываем коэффициент растворимости:

$$S = m(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) / V(\text{H}_2\text{O}) = 26,9 / 0,0731 = 368 \text{ г/л.}$$

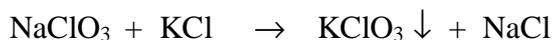
Ответ:  $S(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = 368 \text{ г/л.}$

**Пример 40.** Определите массу осадка хлората калия ( $\text{KClO}_3$ ), выпавшего из раствора, полученного смешиванием 100 г раствора хлората натрия (массовая доля соли 31,95 %) и 100 г раствора хлорида калия (массовая доля соли 22,35 %), если известно, что

коэффициент растворимости хлората калия в данных условиях равен 73 г на литр воды.

Решение:

1) Запишем уравнение реакции:



2) Определим массы и количества веществ в исходных растворах:

$$m(\text{NaClO}_3) = 100 \cdot 0,3195 = 31,95 \text{ г. } v(\text{NaClO}_3) = 31,95 / 106,5 = 0,3 \text{ моль.}$$

$$m(\text{KCl}) = 100 \cdot 0,2235 = 22,35 \text{ г. } v(\text{KCl}) = 22,35 / 74,5 = 0,3 \text{ моль.}$$

3) Определяем массу воды в исходных и конечном растворах:

$$m(\text{H}_2\text{O в растворе NaClO}_3) = 100 - 31,95 = 68,05 \text{ г.}$$

$$m(\text{H}_2\text{O в растворе KCl}) = 100 - 22,35 = 77,65 \text{ г.}$$

$$m(\text{H}_2\text{O в конечном растворе}) = 68,05 + 77,65 = 145,7 \text{ г}$$

4) Определяем, какая масса  $\text{KClO}_3$  останется в конечном растворе, составляя следующую пропорцию:

$$\begin{array}{ccc} 73 \text{ г } \text{KClO}_3 & \text{растворяется в } 1000 \text{ г } \text{H}_2\text{O} & x = 145,7 \cdot 73 / 1000 = 10,64 \text{ г.} \\ x & \text{—} & 145,7 \end{array}$$

5) Рассчитываем массу осадка:

Всего согласно уравнению реакции может образоваться 0,3 моль  $\text{KClO}_3$ , что соответствует массе  $= 0,3 \cdot 122,5 = 36,75 \text{ г.}$

$$m(\text{осадка}) = 36,75 - 10,64 = 26,11 \text{ г.}$$

Ответ:  $m(\text{осадка}) = 26,11 \text{ г.}$

**Пример 41.** Растворимость соли при  $60^\circ\text{C}$  — 40 г в 100 г воды, а при  $20^\circ\text{C}$  — 12 г в 100 г воды. Определите массу соли, выпадающей при охлаждении 300 г раствора, насыщенного при  $60^\circ\text{C}$ , до  $20^\circ\text{C}$ .

Решение:

1) Определяем массу воды в 300 г раствора, насыщенного при  $60^\circ\text{C}$ , составляя пропорцию:

$$\begin{array}{ccc} 100 \text{ г } \text{H}_2\text{O} & \text{содержится в } 100 + 40 = 140 \text{ г раствора} \\ x & \text{—} & 300 \end{array}$$

$$x = 100 \cdot 300 / 140 = 214,3 \text{ г.}$$

2) Определяем массу раствора, насыщенного при  $20^\circ\text{C}$ , и содержащего 214,3 г воды:

100 г H<sub>2</sub>O содержится в 100 + 12 = 112 г раствора  
214,3 — y

$$y = 214,3 \cdot 112 / 100 = 240 \text{ г.}$$

3) Определяем массу осадка:

$$m(\text{осадка}) = m(\text{раствора, насыщенного при } 60^\circ\text{C}) - m(\text{раствора, насыщенного при } 20^\circ\text{C}) = 300 - 240 = 60 \text{ г}$$

Ответ:  $m(\text{осадка}) = 60 \text{ г.}$

### **Задачи для самостоятельного решения**

71. Насыщенный раствор гидрокарбоната натрия имеет молярную концентрацию соли 1,12 моль/л и плотность 1,07 г/мл. Определите коэффициент растворимости гидрокарбоната натрия в этих условиях и его массовую долю в насыщенном растворе.
72. Определите, сколько медного купороса выпало при охлаждении до 0°C 34 мл раствора с массовой долей сульфата меди 30% и плотностью 1,3 г/мл, если известно, что коэффициент растворимости медного купороса при 0°C равен 150 г/л. Какова массовая доля сульфата меди в оставшемся растворе?
73. Определите массу и состав осадка, выпавшего после смешивания 120г раствора хлорида бария с массовой долей соли 26% и 150 г раствора нитрата натрия с массовой долей соли 50 %, если известно, что в данных условиях коэффициенты растворимости хлорида натрия и нитрата бария равны 330 и 90,45 г/л(H<sub>2</sub>O) соответственно.
74. Какой объем раствора с массовой долей сульфата железа (II) 10% и плотностью 1,1 г/мл надо взять для растворения 55,6 г железного купороса (FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O), чтобы получить насыщенный при 20°C раствор сульфата железа (II). Коэффициент растворимости железного купороса при этой температуре равен 266 г/л.
75. Растворимость моногидрата карбоната натрия при 50 °C составляет 47 г на 100 г воды, а кристаллической соды (декагидрата карбоната натрия) при 0 °C 6,7 г на 100 г воды. Рассчитайте массу кристаллической соды, которая выделится из 1 л раствора карбоната натрия с плотностью 1,2 г/мл, насыщенного при 50 °C, после его охлаждения до 0 °C.

### **1.3.3. Электролитическая диссоциация, степень диссоциации (a)**

$a = \frac{N(\text{молекул, распавшихся на ионы})}{N(\text{исходных молекул})} = \frac{n(\text{вещества, распавшегося на ионы})}{n(\text{исходного вещества})}$ $a \% = a \cdot 100$
--

**Пример 42.** Определите молярные концентрации ионов в растворе сульфата алюминия с массовой долей соли 0,2 и плотностью 1,23 г/мл.

Решение:

- 1) Сульфат алюминия, как и подавляющее большинство солей, является сильным электролитом и диссоциирует в водном растворе полностью:



- 2) Пусть имеется 100 г раствора, тогда  $m(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3) = 100 \cdot 0,2 = 20$  г, а  $V(\text{раствора}) = 100 / 1,23 = 81,3$  мл = 0,0813 л.

$$\nu[\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3] = 20 / 342 = 0,0585 \text{ моль.}$$

Согласно уравнению диссоциации  $\nu(\text{Al}^{3+}) = \nu[\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3] \cdot 2 = 0,0585 \cdot 2 = 0,117$  моль и  $\nu(\text{SO}_4^{2-}) = \nu[\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3] \cdot 3 = 0,0585 \cdot 3 = 0,1755$  моль.

- 3) Вычисляем концентрации ионов в растворе:

$$C(\text{Al}^{3+}) = \nu(\text{Al}^{3+}) / V(\text{раствора}) = 0,117 / 0,0813 = 1,44 \text{ моль/л.}$$

$$C(\text{SO}_4^{2-}) = \nu(\text{SO}_4^{2-}) / V(\text{раствора}) = 0,1755 / 0,0813 = 2,16 \text{ моль /л.}$$

Ответ:  $C(\text{Al}^{3+}) = 1,44$  моль/л;  $C(\text{SO}_4^{2-}) = 2,16$  моль /л.

**Пример 43.** Определите степень диссоциации муравьиной кислоты в ее 0,46 %-ном (по массе) водном растворе (плотность раствора 1г/мл), если суммарная концентрация всех частиц, образованных муравьиной кислотой (молекул и ионов) в растворе равна 0,11 моль/л.

Решение:

- 1) Пусть имеется 1 л раствора. Вычисляем количество вещества муравьиной кислоты и суммарное количество вещества всех частиц в растворе:

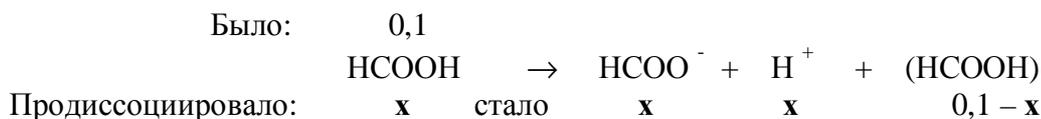
$$\nu(\text{частиц}) = C(\text{частиц}) \cdot V(\text{раствора}) = 0,11 \cdot 1 = 0,11 \text{ моль.}$$

$$m(\text{раствора}) = V(\text{раствора}) \cdot \rho(\text{раствора}) = 1000 \text{ г.}$$

$$m(\text{НСООН}) = m(\text{раствора}) \cdot \omega(\text{НСООН}) = 1000 \cdot 0,0046 = 4,6 \text{ г.}$$

$$\nu(\text{НСООН}) = m(\text{НСООН}) / M(\text{НСООН}) = 4,6 / 46 = 0,1 \text{ моль.}$$

- 2) Пусть продиссоциировало  $x$  моль НСООН, тогда непродиссоциировавшими осталось  $0,1 - x$  моль кислоты и образовалось  $x$  моль ионов  $\text{НСОО}^-$  и  $x$  моль ионов  $\text{H}^+$ :



$$\text{Общее количество вещества частиц в растворе} = x + x + 0,1 - x = 0,1 + x$$

$$0,1 + x = 0,11; \quad x = 0,11 - 0,1 = 0,01.$$

3) Определяем степень диссоциации:

$$\alpha = \nu(\text{продиссоциировавших молекул}) / \nu(\text{исходных молекул}) = x / 0,1 = 0,01 / 0,1 = 0,1 \text{ (10 \%)}$$

Ответ:  $\alpha(\text{НСООН}) = 10 \%$

**Пример 44.** При н.у. в 1 л воды растворяется 1700 мл оксида углерода (IV). Рассчитайте концентрацию ионов водорода в образующемся растворе, если известно, что в угольную кислоту превращается только 6,8 % растворенного вещества, а степень диссоциации угольной кислоты по первой ступени в этих условиях равна 0,08 %. Диссоциацией воды, диссоциацией угольной кислоты по второй ступени и изменением объема раствора при растворении пренебречь.

Решение:

1) Определяем количество вещества  $\text{CO}_2$ , которое может раствориться в 1 литре воды:

$$\nu(\text{CO}_2) = V(\text{CO}_2) / 22,4 = 1,7 / 22,4 = 0,0759 \text{ моль.}$$

2) Записываем уравнение реакции и определяем количество вещества образовавшейся угольной кислоты:



$$\nu(\text{H}_2\text{CO}_3) = \nu(\text{CO}_2) \cdot \eta = 0,0759 \cdot 0,068 = 0,00516 \text{ моль}$$

3) Записываем уравнение диссоциации угольной кислоты по первой ступени и рассчитываем концентрацию ионов водорода в растворе:



$$\alpha = \nu(\text{H}^+) / \nu(\text{H}_2\text{CO}_3); \nu(\text{H}^+) = \alpha \cdot \nu(\text{H}_2\text{CO}_3) = 0,0008 \cdot 0,00516 = 0,00000413 = 4,13 \cdot 10^{-6} \text{ моль.}$$

$$C(\text{H}^+) = \nu(\text{H}^+) / V(\text{раствора}) = 4,13 \cdot 10^{-6} / 1 = 4,13 \cdot 10^{-6} \text{ моль/л.}$$

Ответ:  $C(\text{H}^+) = 4,13 \cdot 10^{-6} \text{ моль/л.}$

### Задачи для самостоятельного решения

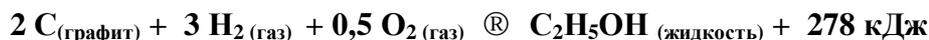
76. В каком соотношении по массе необходимо смешать раствор сульфата натрия с массовой долей соли 2% и раствор хлорида калия с массовой долей соли 3%, чтобы в образовавшемся растворе концентрация ионов натрия была в четыре раза больше концентрации ионов калия?
77. В результате сливания равных объемов насыщенных растворов хлорида бария (плотность 1,25 г/мл) и нитрата натрия (плотность 1.3 г/мл) выпал осадок и остался раствор с плотностью 1.2 г/мл. Определите молярные концентрации ионов, присутствующих в оставшемся растворе, если известно, что растворимости хлорида бария,

нитрата натрия, нитрата бария и хлорида натрия в данных условиях составляют 25, 82, 9,05 и 33 г на 100 г воды соответственно.

78. Массовая доля карбоната натрия в насыщенном при 20 °С растворе равна 0,18. Определите коэффициент растворимости кристаллической соды в воде при этой температуре и молярную концентрацию ионов натрия в насыщенном растворе, если его плотность равна 1,15 г/мл.
79. Определите суммарную концентрацию и число частиц (молекул и ионов), образующихся при растворении 1,2 г уксусной кислоты в 500 мл воды, если известно, что степень диссоциации уксусной кислоты в данных условиях составляет 2 %. Изменением объема пренебречь.
80. Рассчитайте растворимость оксида серы (IV) в воде (в литрах газа на литр воды), если известно, что в сернистую кислоту переходит 38,8 % растворенного газа, степень диссоциации кислоты по первой ступени равна 8,6 % (диссоциацией по второй ступени пренебречь), а концентрация ионов водорода в насыщенном растворе составляет 0,061 моль/л. Плотность раствора 1,1 г/мл.
81. Продукт реакции фосфора с серой, в котором фосфор проявляет свою высшую положительную степень окисления, поместили в воду. После длительного кипячения до прекращения выделения газа с неприятным запахом получили раствор, содержащий 0,004 моль ионов водорода. Рассчитайте степень диссоциации фосфорной кислоты по первой ступени (диссоциацией по второй и третьей ступеням пренебречь), если известно, что при пропускании выделившегося при кипячении газа в избыток раствора нитрата меди выпало 9,6 г черного осадка.

#### 1.4. Тепловые эффекты химических реакций (Q)

Теплотой образования вещества называют количество теплоты, выделяющейся или поглощающейся при образовании 1 моля вещества из простых веществ, например:



$$Q(\text{образования } \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 278 \text{ кДж/моль}$$

Теплота образования простого вещества равна нулю.

Теплотой сгорания вещества называют количество теплоты, выделяющейся при сгорании 1 моля вещества, например:

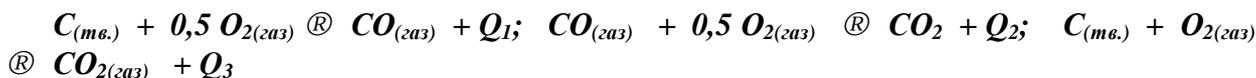


$$Q(\text{сгорания } \text{C}_3\text{H}_6) = 2063 \text{ кДж/моль}$$

\* Закон Гесса: Тепловой эффект процесса не зависит от пути протекания процесса.

Следствия из закона Гесса:

1. Суммарный тепловой эффект многостадийного процесса равен алгебраической сумме тепловых эффектов отдельных стадий, например:



$$Q_3 = Q_1 + Q_2$$

2. Тепловой эффект реакции равен разности между суммой теплот образования продуктов реакции, умноженных на соответствующие коэффициенты в уравнении реакции, и суммой теплот образования исходных веществ, умноженных на соответствующие коэффициенты, например:



$$Q = Q(\text{образования } \text{H}_2\text{O}) \cdot 3 - [Q(\text{образования } \text{CuO}) \cdot 3 + Q(\text{образования } \text{NH}_3) \cdot 2]$$

3. Тепловой эффект реакции равен разности между суммой теплот сгорания исходных веществ, умноженных на соответствующие коэффициенты в уравнении реакции, и суммой теплот сгорания продуктов реакции, умноженных на соответствующие коэффициенты, например:



$$Q = Q(\text{сгорания } \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) \cdot 2 - Q(\text{сгорания } \text{C}_2\text{H}_5\text{OC}_2\text{H}_5)$$

\* Здесь и далее курсивом выделен материал, не входящий в программу средней школы, но имеющийся в программе вступительных экзаменов в ряде вузов.

**Пример 45.** При сгорании 7,75 г фосфора в избытке кислорода выделилось 188 кДж теплоты. Определите теплоту образования оксида фосфора (V) и теплоту сгорания фосфора.

Решение:

- 1) Записываем термохимическое уравнение реакции, рассчитываем количество вещества сгоревшего фосфора и количество вещества образовавшегося оксида фосфора (V):



$$v(P) = 7,75 / 31 = 0,25 \text{ моль}; v(P_2O_5) = v(P) / 2 = 0,25 / 2 = 0,125 \text{ моль}.$$

- 2) Определяем теплоту сгорания фосфора и теплоту образования оксида фосфора (V):

$$Q(\text{сгорания } P) = Q / v(P) = 188 / 0,25 = 752 \text{ кДж/моль}.$$

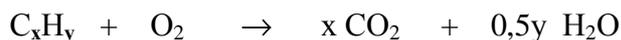
$$Q(\text{образования } P_2O_5) = Q / v(P_2O_5) = 188 / 0,125 = 1504 \text{ кДж/моль}.$$

Ответ:  $Q(\text{сгорания } P) = 752 \text{ кДж/моль}$ ;  $Q(\text{образования } P_2O_5) = 1504 \text{ кДж/моль}$ .

**Пример 46.** При сгорании некоторого количества газообразного углеводорода образовалось 4,48 л оксида углерода (IV) (н.у.) и 3,6 г воды и выделилось 137,5 кДж теплоты. Определите теплоту сгорания углеводорода, если известно, что его плотность по воздуху равна 1,448.

Решение:

- 1) Определяем простейшую формулу сгоревшего углеводорода:



$$v(CO_2) = 4,48 / 22,4 = 0,2 \text{ моль}; v(H_2O) = 3,6 / 18 = 0,2 \text{ моль}.$$

$$v(C) = 0,2 \text{ моль}; v(H) = 0,2 \cdot 2 = 0,4 \text{ моль}.$$

$$x : y = 0,2 : 0,4 = 1 : 2. \quad \text{Простейшая формула углеводорода } CH_2.$$

- 2) Рассчитываем молярную массу и определяем молекулярную формулу углеводорода:

$$M(C_xH_y) = D_{\text{воздух}} \cdot 29 = 1,448 \cdot 29 = 42 \text{ г/моль}. \quad M(\text{фрагмента } CH_2) = 14 \text{ г/моль}$$

Молекулярная формула углеводорода  $(CH_2)_n$ :

$$n = M(C_xH_y) / M(\text{фрагмента } CH_2) = 42 / 14 = 3.$$

Углеводород  $(CH_2)_3$  или  $C_3H_6$ .

- 3) Записываем термохимическое уравнение реакции горения углеводорода и определяем теплоту сгорания:



$$v(\text{C}_3\text{H}_6) = v(\text{CO}_2) / 3 = 0,2 / 3 = 0,0667 \text{ моль.}$$

$$Q(\text{сгорания } \text{C}_2\text{H}_6) = Q / v(\text{C}_2\text{H}_6) = 137,5 / 0,0667 = 2061 \text{ кДж/моль.}$$

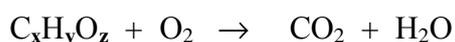
Ответ:  $Q(\text{сгорания } \text{C}_2\text{H}_6) = 2061 \text{ кДж/моль.}$

**Пример 47.** При сжигании 9 г органического вещества образовалось 13,2 г оксида углерода(IV) и 5,4 г воды и выделилось 140 кДж теплоты. Определите молекулярную формулу вещества, если его теплота сгорания равна 2800 кДж/моль.

Решение:

- 1) Судя по продуктам сгорания исходное вещество содержало углерод, водород и, возможно, кислород. Рассчитываем количества образовавшихся веществ, и записываем схему горения:

$$v(\text{CO}_2) = 13,2 / 44 = 0,3 \text{ моль. } v(\text{H}_2\text{O}) = 5,4 / 18 = 0,3 \text{ моль.}$$



- 2) Рассчитываем количества веществ элементов, входящих в состав исходного вещества и определяем его простейшую формулу:

$$v(\text{C}) = v(\text{CO}_2) = 0,3 \text{ моль. } v(\text{H}) = 2 \cdot v(\text{H}_2\text{O}) = 0,3 \cdot 2 = 0,6 \text{ моль.}$$

$$m(\text{O}) = m(\text{вещества}) - m(\text{C}) - m(\text{H}) = 9 - 0,3 \cdot 12 - 0,6 \cdot 1 = 4,8 \text{ г.}$$

$$v(\text{O}) = 4,8 / 16 = 0,3 \text{ моль.}$$

$$x : y : z = 0,3 : 0,6 : 0,3 = 1 : 2 : 1. \text{ Простейшая формула вещества } \text{CH}_2\text{O}.$$

- 3) Определяем молярную массу вещества и его молекулярную формулу:

$$v(\text{исходного вещества}) = Q(\text{выделившееся при сгорании взятого количества}) / Q(\text{сгорания}) = 140 / 2800 = 0,05 \text{ моль.}$$

$$M(\text{исходного вещества}) = 9 / 0,05 = 180 \text{ г/моль.}$$

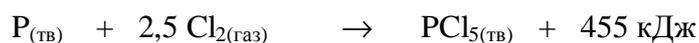
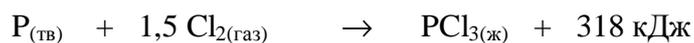
$$\text{Молекулярная формула } (\text{CH}_2\text{O})_n; n = 180 / 30 = 6. \text{ C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6.$$

Ответ:  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6.$

**Пример 48.** При взаимодействии 31 г фосфора с хлором выделилось 400 кДж теплоты, и образовалась смесь хлоридов фосфора (III) и (V). Определите объем прореагировавшего хлора (н.у.), если теплоты образования хлорида фосфора (III) и хлорида фосфора (V) равны 318 и 455 кДж/моль соответственно.

Решение:

- 1) Записываем термохимические уравнения реакций и рассчитываем количество вещества фосфора, вступившего в реакции:



$$v(P) = 31 / 31 = 1 \text{ моль.}$$

- 2) Обозначим количество вещества фосфора, вступившего в первую реакцию за  $x$  и количество вещества фосфора, вступившего во вторую реакцию за  $y$ . Составим систему уравнений и решим ее:

$$\begin{array}{l|l|l|l} x + y = 1 & \cdot 455 & 455x + 455y = 455 & 137x = 55 & y = 1 - 0,401 \\ 318x + 455y = 400 & & 318x + 455y = 400 & x = 0,401 & y = 0,599 \end{array}$$

- 3) Рассчитываем количество вещества вступившего в обе реакции хлора и определяем его объем:

$$v(Cl_2) = 1,5x + 2,5y = 0,401 \cdot 1,5 + 0,599 \cdot 2,5 = 2,1 \text{ моль.}$$

$$V(Cl_2) = 2,1 \cdot 22,4 = 47 \text{ л.}$$

Ответ:  $V(Cl_2) = 47 \text{ л.}$

**Пример 49.** 22 г предельного одноатомного спирта нагрели в присутствии серной кислоты. При этом образовалось 18,4 г смеси простого эфира и трех изомерных алкенов. Определите структурную формулу исходного спирта и массу образовавшегося простого эфира, если известно, что при сжигании 10 г исходного спирта выделяется 370,5 кДж тепла, а теплота сгорания его равна 3260 кДж/моль.

Решение:

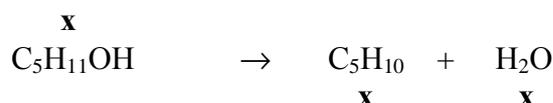
- 1) Определяем молярную массу и формулу исходного спирта:

$$v(\text{в } 10 \text{ г спирта}) = Q / Q(\text{сгорания}) = 370,5 / 3260 = 0,1137 \text{ моль. } M(\text{спирта}) = 10 / 0,1137 = 88 \text{ г/моль.}$$

Общая формула гомологического ряда предельных одноатомных спиртов —  $C_nH_{2n+1}OH$ ;

$$12n + 2n + 1 + 17 = 88; 14n = 70; n = 70 / 14 = 5. \text{ Формула спирта } C_5H_{11}OH.$$

- 2) Записываем уравнения химических реакций, обозначив количество спирта, превратившегося в алкены за  $x$ , и количество спирта, превратившегося в простой эфир за  $y$ .



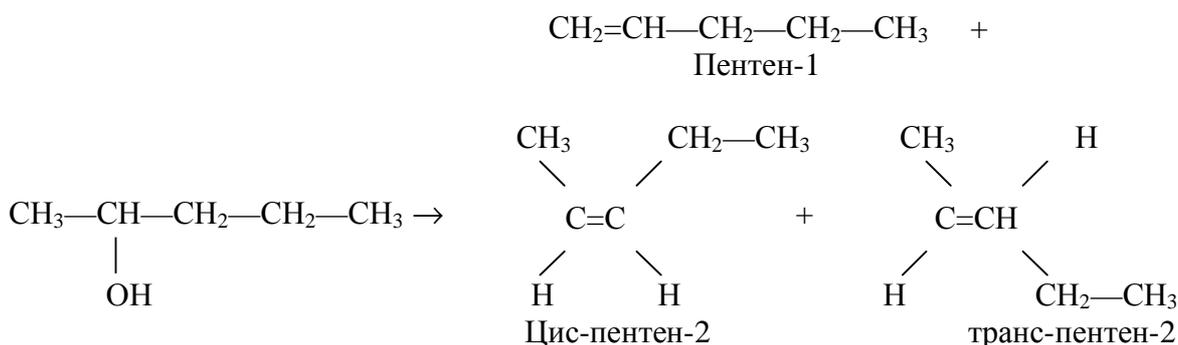
3) Рассчитываем количества веществ спирта и образовавшейся воды, составляем систему уравнений и находим массу простого эфира:

$$v(\text{спирта}) = 22 / 88 = 0,25 \text{ моль. } m(\text{выделившейся воды}) = 22 - 18,4 = 3,6 \text{ г. } v(\text{H}_2\text{O}) = 3,6 / 18 = 0,2 \text{ моль.}$$

$$\begin{aligned} x + y &= 0,25 & 0,5y &= 0,05 \\ x + 0,5y &= 0,2 & m(\text{C}_5\text{H}_{11}\text{O C}_5\text{H}_{11}) &= 0,05 \cdot 158 = 7,9 \text{ г.} \end{aligned}$$

4) Определяем структурную формулу исходного спирта:

Из восьми изомерных спиртов формулы  $\text{C}_5\text{H}_{11}\text{OH}$  только пентанол-2 может образовать смесь трех изомерных алкенов:



Ответ:  $m(\text{C}_5\text{H}_{11}\text{O C}_5\text{H}_{11}) = 7,9 \text{ г; пентанол-2.}$

**Пример 50.** Определите тепловой эффект реакции  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}_{(ж)} + 3 \text{O}_{2(г)} \rightarrow 2 \text{CO}_{2(г)} + 3 \text{H}_2\text{O}_{(ж)}$ . Теплоты образования  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}_{(ж)}$ ,  $\text{CO}_{2(г)}$  и  $\text{H}_2\text{O}_{(ж)}$  равны 277,6; 393,5 и 285,8 кДж/моль соответственно.

Решение:

$$Q(\text{реакции}) = Q(\text{образования } \text{CO}_{2(г)}) \cdot 2 + Q(\text{образования } \text{H}_2\text{O}_{(ж)}) \cdot 3 - Q(\text{образования } \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}_{(ж)})$$

Теплота образования кислорода равна нулю, так как это простое вещество.

$$Q(\text{реакции}) = 393,5 \cdot 2 + 285,8 \cdot 3 - 277,6 = 787 + 857,4 - 277,6 = 1366,8 \text{ кДж.}$$

Ответ:  $Q(\text{реакции}) = 1366,8 \text{ кДж.}$

**Пример 51.** Определите тепловой эффект реакции  $\text{C}_2\text{H}_{2(г)} + 2 \text{H}_{2(г)} \rightarrow \text{C}_2\text{H}_{6(г)}$ . Теплоты сгорания  $\text{C}_2\text{H}_{2(г)}$ ,  $\text{H}_{2(г)}$  и  $\text{C}_2\text{H}_{6(г)}$  равны 1303, 287 и 1563 кДж/моль соответственно.

Решение:

$$Q(\text{реакции}) = Q(\text{сгорания } \text{C}_2\text{H}_{2(г)}) + Q(\text{сгорания } \text{H}_{2(г)}) \cdot 2 - Q(\text{сгорания } \text{C}_2\text{H}_{6(г)})$$

$$Q(\text{реакции}) = 1303 + 287 \cdot 2 - 1563 = 1303 + 574 - 1563 = 314 \text{ кДж.}$$

Ответ:  $Q(\text{реакции}) = 314 \text{ кДж.}$

**Пример 52.** Тепловые эффекты растворения  $MgSO_4$  и  $MgSO_4 \times 7 H_2O$  в воде соответственно равны 84,8 и -15,9 кДж/моль. Какова теплота гидратации при переходе  $MgSO_4$  в  $MgSO_4 \times 7 H_2O$ .

Решение:

Процесс растворения безводного сульфата магния в воде можно представить как последовательность процесса гидратации соли с превращением ее в кристаллогидрат и процесса растворения кристаллогидрата, поэтому:

$Q(\text{растворения } MgSO_4) = Q(\text{гидратации } MgSO_4 \text{ в } MgSO_4 \times 7 H_2O) + Q(\text{растворения } MgSO_4 \times 7 H_2O)$ .

$Q(\text{гидратации } MgSO_4 \text{ в } MgSO_4 \times 7 H_2O) = Q(\text{растворения } MgSO_4) - Q(\text{растворения } MgSO_4 \times 7 H_2O) =$   
 $84,8 - (-15,9) = 100,7 \text{ кДж/моль.}$

Ответ:  $Q(\text{гидратации } MgSO_4 \text{ в } MgSO_4 \times 7 H_2O) = 100,7 \text{ кДж/моль.}$

### Задачи для самостоятельного решения

82. Определите, сколько выделится теплоты при образовании 3,4 г аммиака, если его теплота образования равна 46,2 кДж/моль.
83. Теплоты образования  $FeO$ ,  $Fe_3O_4$  и  $Fe_2O_3$  равны 266,5; 1117 и 822,2 кДж/моль соответственно. Определите, сколько теплоты выделится при сгорании 2,8 г железа в чистом кислороде.
84. 12 г моносахарида сожгли в избытке кислорода, при этом выделилось 184 кДж теплоты. После приведения продуктов сгорания к н.у. выделилось 7,2 г воды и осталось 16,8 л газовой смеси (н.у.) с плотностью по водороду 19,2. Определите формулу моносахарида, если известно, что его теплота сгорания равна 2300 кДж/моль.
85. В результате сжигания некоторого количества органического вещества, содержащего азот, в 17,92 л кислорода выделилось 180 кДж теплоты, образовалось 10,8 г воды и 14,56 л газовой смеси с плотностью 1,635 г/л, объем которой после пропускания через избыток раствора щелочи уменьшился на 6,72 л. Определите структурную формулу сожженного вещества, если его теплота сгорания равна 1200 кДж/моль. Все объемы и плотность измерены при нормальных условиях.
86. 29 г насыщенного одноатомного спирта нагрели в присутствии серной кислоты и получили смесь пяти изомерных алкенов и простого эфира массой 24,95 г. Определите выход простого эфира в расчете на взятый спирт и предложите структурные формулы исходного спирта и полученных алкенов, если известно, что при сжигании 10 г спирта выделяется 301,7 кДж теплоты, а теплота сгорания его равна 3500 кДж/моль.
87. При сжигании некоторого количества смеси серы с фосфором выделилось 315 кДж теплоты, а на полную нейтрализацию раствора продуктов сгорания в воде потребовалось 246 мл раствора гидроксида натрия с массовой долей щелочи 20 % и плотностью 1,22 г/мл. Определите массовые доли веществ в исходной смеси, если известно, что теплоты образования оксида фосфора (V) и оксида серы (IV) равны 1507 и 297 кДж/моль соответственно.

88. 15,68 л (н.у.) смеси сероводорода и кислорода подожгли. В результате образовалось некоторое количество серы, оксид серы (IV) и вода и выделилось 129,8 кДж теплоты. Определите состав исходной газовой смеси в массовых долях, если известно, что исходные вещества прореагировали полностью, а теплоты сгорания сероводорода до серы и до оксида серы (IV) равны 246 и 560 кДж/моль соответственно.
89. Определите тепловой эффект реакции  $C_2H_5OH_{(ж)} + CH_3COOH_{(ж)} \rightarrow CH_3COOC_2H_5_{(ж)} + H_2O_{(ж)}$ . Теплоты сгорания  $CH_3COOH$ ,  $C_2H_5OH$  и  $CH_3COOC_2H_5$  равны соответственно: 1366,9; 871,5 и 2254,2 кДж/моль.
90. Определите тепловой эффект реакции:  $C_2H_5OH_{(ж)} \rightarrow C_2H_4_{(г)} + H_2O_{(ж)}$ , если известно, что теплоты образования  $C_2H_5OH$ ,  $C_2H_4$  и  $H_2O$  равны 277,6; -52,3 и 285,8 кДж/моль соответственно.
91. Тепловой эффект растворения  $BaCl_2$  в воде равен 8,66 кДж/моль. А теплота гидратации этой соли при переходе в  $BaCl_2 \cdot 2 H_2O$  290,2 кДж/моль. Какова теплота растворения  $BaCl_2 \cdot 2 H_2O$ ?

### 1.5. Скорость химических реакций (u)

$u(\text{гомогенной реакции}) = \frac{DC}{Dt} = \frac{Dn}{V \cdot Dt};$	$u(\text{гетерогенной реакции}) = \frac{Dn}{S \cdot Dt}$
<p><math>u(\text{гомогенной реакции})</math> — средняя скорость реакции, протекающей в однородной среде в интервале времени <math>Dt</math>; <math>DC</math> и <math>Dn</math> — изменения концентрации и количества исходного вещества или продукта реакции (взяты по абсолютной величине); <math>V</math> — объем, в котором протекает реакция. (Объем считается неизменным)</p>	<p><math>u(\text{гетерогенной реакции})</math> — средняя скорость реакции, протекающей на границе двух несмешивающихся веществ в интервале времени <math>Dt</math>; <math>S</math> — площадь поверхности соприкосновения реагирующих веществ.</p>
$u = k \cdot C_A^a \cdot C_B^b \cdot \dots$	
<p><math>u</math> — истинная скорость реакции в данный момент времени; <math>k</math> — коэффициент пропорциональности (константа скорости реакции); <math>C_A, C_B, \dots</math> — концентрации реагирующих веществ; <math>a, b, \dots</math> — показатели степени, зависящие от механизма и условий проведения реакции (порядки реакции по веществам <math>A, B, \dots</math>).</p>	
$u_{t_2}^0 = u_{t_1}^0 \cdot g^{\frac{t_2^0 - t_1^0}{10}}$	<p><math>u_{t_2}^0</math> — скорость реакции при температуре <math>t_2^0</math>  <math>u_{t_1}^0</math> — скорость реакции при температуре <math>t_1^0</math>  <math>g</math> — температурный коэффициент скорости реакции</p>

**Пример 53.** В сосуде емкостью 5 л смешали 1,4 г этилена и 5,475 г хлороводорода. Через 25 секунд в сосуде образовалось 1,29 г хлорэтана. Определите молярные концентрации веществ в этот момент и среднюю скорость реакции в этом интервале времени.

Решение:

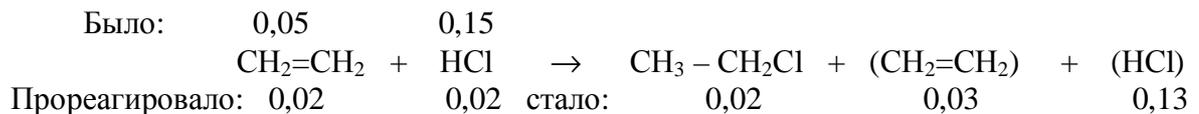
- 1) Определяем количества исходных веществ и количество образовавшегося продукта:

$$v(\text{C}_2\text{H}_4) = 1,4 / 28 = 0,05 \text{ моль};$$

$$v(\text{HCl}) = 5,475 / 36,5 = 0,15 \text{ моль};$$

$$v(\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}) = 1,29 / 64,5 = 0,02 \text{ моль}.$$

- 2) Записываем уравнение реакции, указывая количества реагирующих и образующихся веществ:



- 3) Определяем молярные концентрации веществ через 25 секунд после начала реакции:

$$C(\text{CH}_2=\text{CH}_2) = 0,03 / 5 = 0,06 \text{ моль/л. } C(\text{HCl}) = 0,13 / 5 = 0,026 \text{ моль/л.}$$

$$C(\text{CH}_3-\text{CH}_2\text{Cl}) = 0,02 / 5 = 0,04 \text{ моль/л.}$$

- 4) Согласно уравнению реакции:

$$\Delta v(\text{C}_2\text{H}_4) = \Delta v(\text{HCl}) = v(\text{образовавшегося } \text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}) = 0,02 \text{ моль}.$$

- 5) Эта реакция гомогенная, так как оба реагирующие вещества газы:

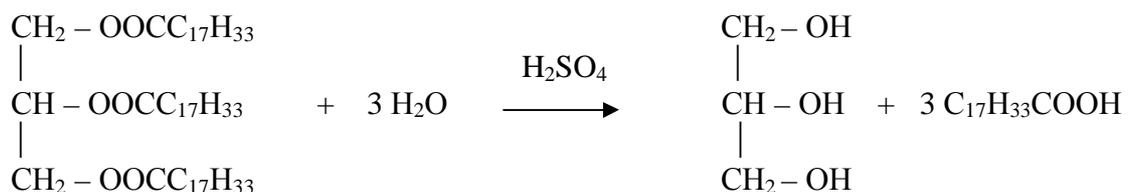
$$v = \Delta v / (V \cdot \Delta t) = 0,02 / (5 \cdot 25) = 0,00016 = 1,6 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л.сек.}$$

Ответ:  $v = 1,6 \cdot 10^{-4}$  моль/л.сек;  $C(\text{CH}_2=\text{CH}_2) = 0,06$  моль/л,  $C(\text{HCl}) = 0,026$  моль/л,  $C(\text{CH}_3-\text{CH}_2\text{Cl}) = 0,04$  моль/л.

**Пример 54.** В сосуд кубической формы емкостью 1 литр поместили 500 мл раствора серной кислоты и сверху налили толстый слой жидкого жира, содержащего остатки только олеиновой кислоты. Через четыре часа концентрация глицерина в водном слое достигла 0,004 моль/л. Определите среднюю скорость реакции гидролиза жира в этом интервале времени. (Изменением объема водного слоя пренебречь).

Решение:

- 1) Записываем уравнение реакции:



- 2) Эта реакция гетерогенная, так как жир не растворим в воде, и реакция происходит на границе раздела между слоем жира и раствора серной кислоты. Определяем изменение количества вещества жира и площадь соприкосновения слоев:

$$\Delta v(\text{жира}) = v(\text{образовавшегося глицерина}) = C \cdot V = 0,004 \cdot 0,5 = 0,002 \text{ моль.}$$

Длина ребра куба объемом 1 л = 10 см = 0,1 м. Площадь поперечного сечения куба равна квадрату его ребра:

$$S = 0,1 \cdot 0,1 = 0,01 \text{ м}^2.$$

- 3) Определяем скорость реакции:

$$v = \Delta v / (S \cdot \Delta t) = 0,002 / (0,01 \cdot 4) = 0,05 \text{ моль/м}^2 \cdot \text{час.}$$

Ответ:  $v = 0,05 \text{ моль/м}^2 \cdot \text{час.}$

**Пример 55.** В некоторый момент времени скорость реакции синтеза аммиака, измеренная по водороду, составила 0,045 моль/л.мин. Какие значения будет иметь скорость этой же реакции в тот же момент времени и в тех же условиях, если ее измерять по азоту или по аммиаку?

Решение:



$$v(\text{измеренная по H}_2) = \Delta v(\text{H}_2) / (V \cdot \Delta t); v(\text{измеренная по N}_2) = \Delta v(\text{N}_2) / (V \cdot \Delta t);$$

Согласно уравнению реакции изменение количества вещества азота в три раза меньше изменения количества вещества водорода —  $\Delta v(\text{N}_2) = \Delta v(\text{H}_2) / 3$ , поэтому скорость реакции, измеренная по азоту, в три раза меньше скорости реакции, измеренной по водороду:

$$v(\text{измеренная по N}_2) = v(\text{измеренная по H}_2) / 3 = 0,045 / 3 = 0,015 \text{ моль/л.мин.}$$

Аналогично, изменение количества аммиака в этой реакции в два раза больше изменения количества азота, поэтому скорость, измеренная по аммиаку, будет в два раза больше скорости, измеренной по азоту.

$$v(\text{измеренная по NH}_3) = 2 \cdot v(\text{измеренная по N}_2) = 0,015 \cdot 2 = 0,03 \text{ моль/л.мин.}$$

Ответ:  $v(\text{измеренная по N}_2) = 0,015 \text{ моль/л.мин.}$ ;  $v(\text{измеренная по NH}_3) = 0,03 \text{ моль/л.мин.}$

**Пример 56** Во сколько раз увеличится скорость реакции образования оксида азота (IV) из оксида азота (II) и кислорода при увеличении концентраций реагирующих веществ в 4 раза, если известно, что для этой реакции скорость прямопропорциональна концентрации оксида азота (II) в первой степени и концентрации кислорода в степени 1/2?

Решение:

- 1) Записываем уравнение реакции и уравнение для скорости этой реакции:



$$v = k \cdot C_{(\text{NO})} \cdot \sqrt{C_{(\text{O}_2)}}$$

$$v_2 = k \cdot C_{2(\text{NO})} \cdot \sqrt{C_{2(\text{NO}_2)}} = k \cdot 4 \cdot C_{(\text{NO})} \cdot \sqrt{(4 \cdot C_{(\text{NO}_2)})} = 8 \cdot k \cdot C_{(\text{NO})} \cdot \sqrt{C_{(\text{NO}_2)}} = 8v$$

Ответ: Скорость увеличится в 8 раз.

**Пример 57.** Во сколько раз увеличится скорость реакции при повышении температуры с 30°C до 80°C, если температурный коэффициент скорости для данной реакции равен двум?

Решение:

$$v_{t_2}^0 = v_{t_1}^0 \gamma^{\frac{t_2^0 - t_1^0}{10}}$$

$$(t_2 - t_1) / 10 = (80 - 30) / 10 = 5; \quad v_{t_2} / v_{t_1} = \gamma^5 = 2^5 = 32$$

Ответ: Скорость увеличится в 32 раза.

### Задачи для самостоятельного решения

92. 1 л водного раствора ацетальдегида с массовой долей растворенного вещества 8,8 % и плотностью 1 г/мл смешали с 1 л аммиачного раствора оксида серебра. Через 20 минут из раствора выпало 21,6 г осадка. Определите молярные концентрации органических веществ в этом растворе и среднюю скорость реакции, измеренную по ацетальдегиду в этом интервале времени.
93. Скорость реакции омыления метилацетата прямопропорциональна произведению молярных концентраций реагирующих веществ. Определите концентрацию гидроксида натрия в реакционной смеси, если известно, что массовая доля метилацетата в ней составляет 3,7 %, скорость реакции в данный момент времени равна  $2 \cdot 10^{-3}$  моль/л.мин, а коэффициент пропорциональности в уравнении для скорости реакции при данной температуре равен  $5 \cdot 10^{-3}$  л/моль.мин. Плотность раствора принять равной 1 г/мл.
94. В результате реакции брожения глюкозы при 25°C за 2 часа выделилось 17,92 л оксида углерода (IV) (н.у.). Определите массу спирта, образующегося при брожении глюкозы в таком же объеме за 1 час при 35°C, если известно, что скорость этой реакции не зависит от концентрации глюкозы, а температурный коэффициент скорости равен восьми.
95. Скорость реакции этерификации прямопропорциональна произведению молярных концентраций кислоты и спирта, причем коэффициент пропорциональности при 40°C равен 0,004 л/моль.мин. Определите величину скорости реакции этерификации при 70°C в растворе в толуоле, в котором массовые доли уксусной кислоты и метанола составляют 13,33 % и 7,11 % соответственно, а плотность раствора равна 0,9 г/мл. Температурный коэффициент скорости реакции равен трем.
96. В стакан диаметром 5 см поместили раствор серной кислоты с массовой долей кислоты 4,75% (плотность 1,032 г/мл) и сверху налили толстый слой жидкого жира, содержащего остатки только олеиновой кислоты. Через 24 часа в водном слое появилось 0,46 г глицерина. Определите массу олеиновой кислоты, образующейся при

выдерживании слоя такого же жира при той же температуре в сосуде диаметром 20 см в контакте с раствором серной кислоты с массовой долей кислоты 20,9% (плотность 1,172 г/мл) в течение 40 часов, учитывая, что скорость данной гетерогенной реакции прямопропорциональна концентрации ионов водорода в водном слое. Изменениями объема водного слоя пренебречь.

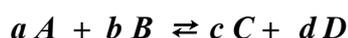
## 1.6. Химическое равновесие

**Химическим равновесием** называют такое состояние системы реагирующих веществ, когда количество образующегося вещества в единицу времени в единице объема равно количеству этого вещества, превращающегося обратно в исходные продукты за то же время и в том же объеме.

В состоянии равновесия скорости прямой и обратной реакций, измеренные по одному и тому же веществу, равны между собой.

*Каждая равновесная система характеризуется константой химического равновесия (K).*

*Для химического равновесия:*



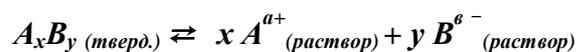
$$K = \frac{[C]^c \cdot [D]^d}{[A]^a \cdot [B]^b}, \text{ где } [A], [B], [C] \text{ и } [D] - \text{ молярные концентрации веществ } A, B, C \text{ и } D;$$

*a, b, c и d – коэффициенты в уравнении реакции.*

*Константа химического равновесия не зависит от концентраций реагирующих веществ и зависит только от температуры.*

*Для растворов малорастворимых солей и оснований, находящихся в равновесии с нерастворенным веществом используют константу, называемую произведением растворимости (ПР).*

*Для равновесия:*



*$ПР = [A]^x \cdot [B]^y$ , где  $[A]$  и  $[B]$  – концентрации ионов  $A^{a+}$  и  $B^{b-}$  в растворе;  $x$  и  $y$  – число ионов, образующееся при диссоциации одной формульной единицы  $A_x B_y$*

**При повышении температуры равновесие смещается в сторону эндотермического, при понижении – в сторону экзотермического процесса.**

**Пример 58.** Некоторое количество азота и водорода смешали в сосуде емкостью 2 л и нагревали в присутствии железного катализатора до установления химического равновесия. Определите исходные концентрации веществ в сосуде, если известно, что равновесная смесь содержала 0,6 моль азота, 1,8 моль водорода и 0,8 моль аммиака.

Решение:

- 1) Определяем, сколько азота и водорода израсходовалось на синтез аммиака:



$$v'(\text{H}_2) = (3 / 2) \cdot v(\text{NH}_3) = 0,8 \cdot 3 / 2 = 1,2 \text{ моль. } v'(\text{N}_2) = (1 / 2) \cdot v(\text{NH}_3) = 0,8 / 2 = 0,4 \text{ моль.}$$

- 2) Определяем исходные количества азота и водорода:

$$v(\text{H}_2)_{\text{исходное}} = v(\text{H}_2)_{\text{равновесное}} + v'(\text{H}_2) = 1,8 + 1,2 = 3 \text{ моль.}$$

$$v(\text{N}_2)_{\text{исходное}} = v(\text{N}_2)_{\text{равновесное}} + v'(\text{N}_2) = 0,6 + 0,4 = 1 \text{ моль.}$$

- 3) Определяем исходные концентрации азота и водорода:

$$C(\text{H}_2)_{\text{исходное}} = v(\text{H}_2)_{\text{исходное}} / V = 3 / 2 = 1,5 \text{ моль/л.}$$

$$C(\text{N}_2)_{\text{исходное}} = v(\text{N}_2)_{\text{исходное}} / V = 1 / 2 = 0,5 \text{ моль/л.}$$

Ответ:  $C(\text{H}_2)_{\text{исходное}} = 1,5 \text{ моль/л; } C(\text{N}_2)_{\text{исходное}} = 0,5 \text{ моль/л.}$

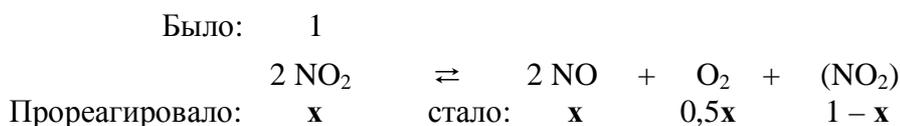
**Пример 59.** Оксид азота (IV) нагревали при некоторой температуре, при этом часть его разложилась на оксид азота (II) и кислород и установилось химическое равновесие. Определите объемные доли веществ в равновесной смеси, если ее плотность по воздуху равна 1,269.

Решение:

- 1) Определяем среднюю молярную массу равновесной газовой смеси:

$$M_{\text{ср.}}(\text{равновесной смеси}) = 1,269 \cdot 29 = 36,8 \text{ г/моль.}$$

- 2) Пусть исходное количество оксида азота (IV) равнялось 1 моль и к моменту достижения равновесия образовалось  $x$  моль оксида азота (II), тогда в равновесии останется  $1 - x$  моль  $\text{NO}_2$  и образуется  $0,5x$  моль  $\text{O}_2$ .



Общее количество веществ в равновесной смеси равно  $x + 0,5x + (1 - x) = 1 + 0,5x$ .

- 3) Составляем уравнение с использованием средней молярной массы, учитывая, что масса газовой смеси не изменяется во время установления равновесия, и находим  $x$ :

$$36,8 \cdot (1 + 0,5x) = 46; 18,4x = 9,2; x = 0,5.$$

- 4) Находим молярные доли веществ в равновесной смеси, которые равны соответствующим объемным долям.

$$\chi(\text{NO}_2) = (1 - x) / (1 + 0,5x) = 0,5 / 1,25 = 0,4;$$

$$\chi(\text{NO}) = x / (1 + 0,5x) = 0,5 / 1,25 = 0,4;$$

$$\chi(\text{O}_2) = 0,5x / (1 + 0,5x) = 0,25 / 1,25 = 0,2.$$

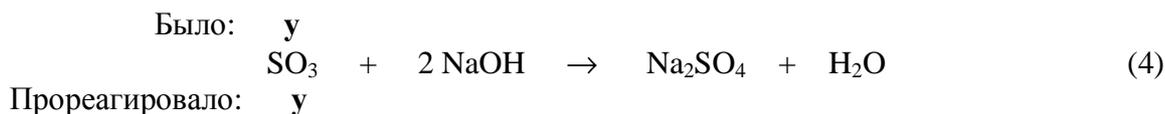
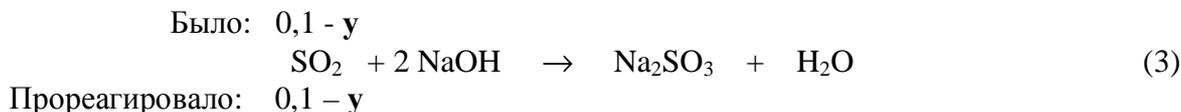
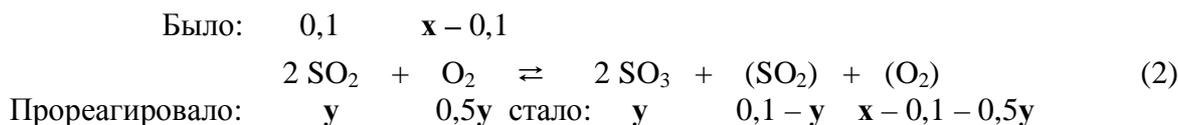
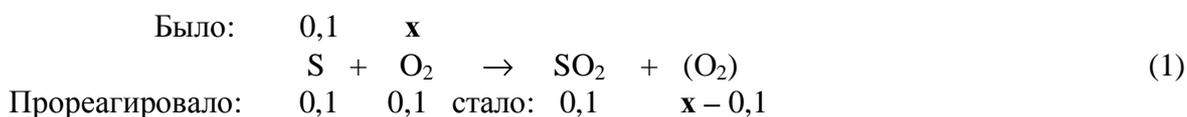
Ответ:  $\varphi(\text{NO}_2) = 40\%$ ;  $\varphi(\text{NO}) = 40\%$ ;  $\varphi(\text{O}_2) = 20\%$ .

**Пример 60.** 3,2 г серы сожгли в избытке кислорода. Образовавшуюся смесь оксида серы (IV) с остатком кислорода нагревали в присутствии катализатора ( $\text{V}_2\text{O}_5$ ) до установления химического равновесия. Равновесную смесь быстро охладили и обработали избытком раствора гидроксида натрия, в результате чего масса раствора увеличилась на 7,6 г, а объем не растворившегося газа составил 1,12 л (н.у.). Определите объем кислорода (н.у.), взятого для сжигания серы.

Решение:

1) Определяем количество вещества серы и записываем все уравнения химических реакций (количество вещества исходного кислорода обозначим через  $x$  и количество вещества образовавшегося при установлении равновесия  $\text{SO}_3$  – через  $y$ ):

$$v(\text{S}) = 3,2 / 32 = 0,1 \text{ моль.}$$



2) При пропускании равновесной газовой смеси через раствор гидроксида натрия оба оксида серы растворились, и остался лишь не прореагировавший кислород. Изменение массы раствора равно сумме масс оксидов серы:

$$m(\text{SO}_2 \text{ равн.}) + m(\text{SO}_3 \text{ равн.}) = 7,6 \text{ г.}$$

$$(0,1 - y) \cdot 64 + y \cdot 80 = 7,6; \quad 16y = 1,2; \quad y = 0,075 \text{ моль.}$$

3) Определяем количество не прореагировавшего кислорода и затем находим исходный объем кислорода:

$$v(\text{O}_2 \text{ оставшегося}) = 1,12 / 22,4 = 0,05 \text{ моль.}$$

$$x - 0,1 - 0,5y = 0,05; \quad x = 0,05 + 0,1 + 0,5 \cdot 0,075 = 0,1875 \text{ моль.}$$

$$V(\text{исходного кислорода}) = 0,1875 \cdot 22,4 = 4,2 \text{ л.}$$

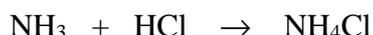
Ответ:  $V(\text{исходного кислорода}) = 4,2 \text{ л.}$

**Пример 61.** Избыток смеси аммиака с равным количеством триметиламина растворили в 172 мл соляной кислоты с массовой долей хлороводорода 0,12 и плотностью 1,061 г/мл. Полученный раствор осторожно упарили и получили 51 г сухого вещества. Определите массы веществ, содержащихся в сухом остатке, и количественно оцените соотношение основных свойств триметиламина и аммиака, считая, что при выпаривании не происходит смещения установившегося в растворе равновесия. Объясните полученный результат.

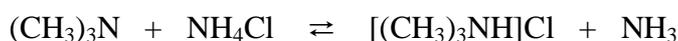
Решение:

- 1) Определяем количество вещества хлороводорода и записываем уравнения происходящих химических реакций:

$$v(\text{HCl}) = V \cdot \rho \cdot \omega / M = 172 \cdot 1,061 \cdot 0,12 / 36,5 = 0,6 \text{ моль.}$$



- 2) Поскольку смесь аммиака с триметиламином была в избытке, хлороводород прореагировал полностью и суммарное количество вещества солей равно количеству вещества исходного HCl, т.е. 0,6 моль. В полученном растворе содержатся также не прореагировавшие аммиак и триметиламин, и устанавливается следующее равновесие, положение которого определяется относительной основностью этих двух веществ. Чем сильнее основание, тем больше равновесие сдвинуто в сторону его соли.



- 3) При выпаривании испаряются вода, аммиак и триметиламин, а в сухом остатке содержатся только две соли. Обозначим количество вещества хлорида аммония за  $x$  и количество вещества хлорида триметиламмония за  $y$ , тогда масса хлорида аммония равна  $53,5x$  и масса хлорида триметиламмония равна  $95,5y$ . Составим систему уравнений и решим ее:

$$\begin{array}{l|l|l|l} x + y = 0,6 & \cdot 95,5 & 95,5x + 95,5y = 57,3 & \left| \begin{array}{l} 42x = 6,3 \\ x = 0,15 \end{array} \right. & \left| \begin{array}{l} y = 0,6 - 0,15 \\ y = 0,45 \end{array} \right. \\ 53,5x + 95,5y = 51 & & 53,5x + 95,5y = 51 & & \end{array}$$

- 4) Определяем массы солей в сухом остатке:

$$m(\text{NH}_4\text{Cl}) = 53,5 \cdot 0,15 = 8,025 \text{ г. } m\{[(\text{CH}_3)_3\text{NH}]\text{Cl}\} = 95,5 \cdot 0,45 = 42,975 \text{ г.}$$

Количество вещества хлорида триметиламмония в три раза больше количества вещества хлорида аммония, следовательно, триметиламин в три раза более сильное основание, чем аммиак, что объясняется увеличением электронной плотности на атоме азота триметиламина за счет смещения электронов от метильных групп.

Ответ:  $m(\text{NH}_4\text{Cl}) = 8,025 \text{ г; } m\{[(\text{CH}_3)_3\text{NH}]\text{Cl}\} = 42,975 \text{ г;}$  триметиламин в три раза более сильное основание, чем аммиак.

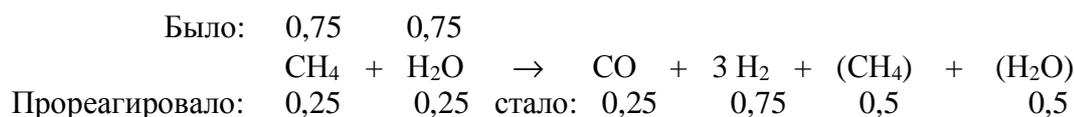
**Пример 62.** В сосуд объемом 1 литр поместили 13,5 г воды, катализатор и затем под давлением в сосуд добавили 0,75 моль метана. Сосуд нагрели до температуры, при которой происходит реакция конверсии метана. В некоторый момент времени  $t$  скорость прямой реакции, измеренной по метану, была в 1,333 раза больше скорости обратной

реакции, измеренной по водороду, а концентрация оксида углерода (II) составила 0,25 моль/л. Определите состав газовой смеси (в % по объему) в момент достижения равновесия, если известно, что скорость прямой реакции прямопропорциональна концентрации метана и не зависит от концентрации воды, а скорость обратной реакции прямопропорциональна концентрации водорода и не зависит от концентрации CO.

Решение:

- 1) Записываем уравнение реакции конверсии метана и определяем количества веществ в момент времени  $t$ :

$$v(\text{H}_2\text{O исходной}) = 13,5 / 18 = 0,75 \text{ моль. } v(\text{CO образовавшегося}) = 0,25 \cdot 1 = 0,25 \text{ моль.}$$



- 2) Определяем соотношение скоростей прямой и обратной реакций в момент времени  $t$ , измеренных по одному и тому же веществу, например, метану:

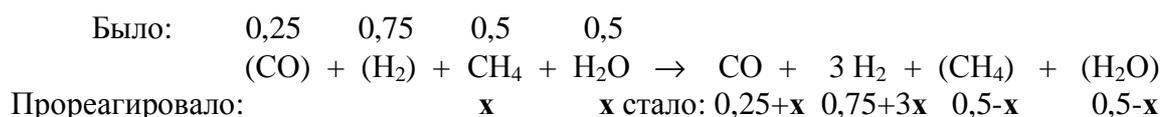
$$v(\text{прямой реакции, измеренная по } \text{CH}_4) = k_1 \cdot C(\text{CH}_4) = k_1 \cdot 0,5 / 1 = 0,5k_1.$$

$$v(\text{обратной реакции, измеренная по } \text{CH}_4) = k_2 \cdot C(\text{H}_2) = k_2 \cdot 0,75 / 1 = 0,75 k_2$$

Поскольку в обратной реакции водорода расходуется в три раза больше, чем образуется метана,  $v(\text{обратной реакции, измеренная по } \text{H}_2) = v(\text{обратной реакции, измеренная по } \text{CH}_4) \cdot 3$ , тогда  $v(\text{прямой реакции, измеренная по } \text{CH}_4) = 1,333 \cdot v(\text{обратной реакции, измеренная по } \text{CH}_4) \cdot 3 = 4 \cdot v(\text{обратной реакции, измеренная по } \text{CH}_4)$ .

$$0,5k_1 = 4 \cdot 0,75k_2. \quad k_1 = 6 k_2$$

- 3) Пусть к моменту достижения равновесия образовалось еще  $x$  моль CO, тогда равновесные количества веществ станут следующими:



- 4) При состоянии равновесия скорости обратной и прямой реакций, измеренные по одному веществу равны:

$$k_1 \cdot C(\text{CH}_4) = k_2 \cdot C(\text{H}_2); \Rightarrow k_1 \cdot (0,5 - x) / 1 = k_2 \cdot (0,75 + 3x) / 1.$$

Подставляем выражение  $k_1 = 6 k_2$  и находим  $x$ :

$$6k_2 \cdot (0,5 - x) = k_2 \cdot (0,75 + 3x); \quad 3 - 6x = 0,75 + 3x; \quad 9x = 2,25; \quad x = 0,25.$$

- 5) Находим количества веществ газов в состоянии равновесия и определяем их объемные доли:

$$v(\text{CO}) = 0,25 + 0,25 = 0,5 \text{ моль, } v(\text{H}_2) = 0,75 + 0,75 = 1,5 \text{ моль; } v(\text{CH}_4) = v(\text{H}_2\text{O}) = 0,5 - 0,25 = 0,25 \text{ моль.}$$

$$v(\text{газов}) = 0,5 + 1,5 + 0,25 + 0,25 = 2,5 \text{ моль.}$$

Для газов  $\varphi = \chi$

$$\varphi(\text{CO}) = \chi(\text{CO}_2) = 0,5 / 2,5 = 0,2; \varphi(\text{H}_2) = 1,5 / 2,5 = 0,6;$$
$$\varphi(\text{CH}_4) = \varphi(\text{H}_2\text{O}) = 0,25 / 2,5 = 0,1.$$

Ответ:  $\varphi(\text{CO}) = 20 \%$ ;  $\varphi(\text{H}_2) = 60 \%$ ;  $\varphi(\text{CH}_4) = \varphi(\text{H}_2\text{O}) = 10 \%$ .

**Пример 63.** В замкнутый сосуд поместили некоторое количество йода и заполнили его водородом, затем сосуд нагревали при некоторой температуре до установления химического равновесия. Равновесные концентрации  $\text{H}_2$ ,  $\text{I}_2$  и  $\text{HI}$  оказались равны, соответственно,  $0,15$ ;  $0,15$  и  $0,3$  моль/л. Вычислите значение константы равновесия  $\text{I}_{2(g)} + \text{H}_{2(g)} \rightleftharpoons 2\text{HI}_{(g)}$ , и исходную концентрацию  $\text{H}_2$ .

Решение:

1)

$$K = \frac{[\text{HI}]^2}{[\text{H}_2] \cdot [\text{I}_2]} = \frac{(0,3)^2}{0,15 \cdot 0,15} = 4$$

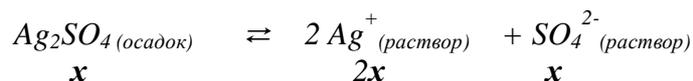
- 2)  $n(\text{H}_2 \text{ исходное}) = n(\text{H}_2 \text{ равновесное}) + n(\text{H}_2 \text{ превратившегося в HI});$   
 $n(\text{H}_2 \text{ превратившегося в HI}) = 0,5 \cdot n(\text{HI равновесное});$   
 $n(\text{H}_2 \text{ исходное}) = n(\text{H}_2 \text{ равновесное}) + 0,5 \cdot n(\text{HI равновесное}).$   
Поскольку объем сосуда постоянен,  
 $C(\text{H}_2 \text{ исходное}) = C(\text{H}_2 \text{ равновесное}) + 0,5 \cdot C(\text{HI равновесное}) = 0,15 + 0,5 \cdot 0,3 = 0,3$  моль/л.

Ответ:  $K = 4$ ;  $C(\text{H}_2 \text{ исходное}) = 0,3$  моль/л.

**Пример 64.** Рассчитайте молярные концентрации ионов  $\text{Ag}^+$  и  $\text{SO}_4^{2-}$  в насыщенном растворе сульфата серебра, если известно, что произведение растворимости сульфата серебра в этих условиях равно  $3,2 \cdot 10^{-5}$ .

Решение:

В насыщенном растворе существует равновесие между твердой солью и ионами в растворе. Если при образовании 1 литра насыщенного раствора растворилось  $x$  сульфата серебра, то концентрация ионов  $\text{Ag}^+$  равна  $2x$ , а концентрация ионов  $\text{SO}_4^{2-}$  -  $x$  моль/л:



$$PP = [\text{Ag}^+]^2 \cdot [\text{SO}_4^{2-}] = (2x)^2 \cdot x = 4x^3.$$

$$x = \sqrt[3]{(PP / 4)} = \sqrt[3]{(3,2 \cdot 10^{-5} / 4)} = \sqrt[3]{(8 \cdot 10^{-6})} = 0,02.$$

$$C(\text{Ag}^+) = 0,02 \cdot 2 = 0,04 \text{ моль/л. } C(\text{SO}_4^{2-}) = 0,02 \text{ моль/л.}$$

Ответ:  $C(\text{Ag}^+) = 0,04$  моль/л;  $C(\text{SO}_4^{2-}) = 0,02$  моль/л.

### Задачи для самостоятельного решения

97. Смесь азота с водородом с плотностью по водороду 7,5 нагревали в присутствии железного катализатора до установления химического равновесия, затем равновесную смесь быстро охладили и привели к нормальным условиям, при этом ее плотность оказалась на 20% больше плотности исходной смеси. Определите объемные доли веществ в исходной и равновесной газовых смесях.
98. В газовой смеси, состоящей из оксида серы (IV) и кислорода с относительной плотностью по воздуху, равной 1,7655, часть оксида серы (IV) прореагировала и образовалась равновесная газовая смесь с относительной плотностью на 25% больше, чем плотность исходной смеси, измеренной при тех же условиях. Рассчитайте состав равновесной смеси в объемных процентах.
99. В сосуд емкостью 5 л, заполненный азотом (н.у.), поместили некоторое количество оксида серы (VI) и катализатор ( $V_2O_5$ ). Сосуд нагревали при некоторой температуре до установления химического равновесия. Образовавшуюся смесь после приведения к н.у. обработали избытком раствора гидроксида натрия. При этом образовалось 98,5 г смеси солей и осталось 10,6 л газовой смеси. Рассчитайте массу исходного оксида серы (VI) и концентрации веществ в сосуде в момент равновесия.
100. Газовую смесь, полученную в результате термического разложения нитрата меди, нагревали при некоторой температуре до установления равновесия. Определите массовые доли веществ в равновесной смеси, если известно, что плотность ее по водороду равна 16,615 и что реакция образования оксида азота (IV) из оксида азота (II) и кислорода обратима.
101. К раствору уксусной кислоты в метаноле с массовой долей кислоты 29,41 % и плотностью 0,816 г/мл добавили каплю серной кислоты и нагревали до установления равновесия. Затем равновесную смесь быстро охладили и обработали избытком натрия. Объем выделившегося при этом газа оказался в 212,8 раза больше объема исходного раствора. Определите массовые доли веществ в равновесной смеси. (Реакцией натрия с серной кислотой пренебречь).
102. К 110 г водного раствора, содержащего по массе 4,6% муравьиной кислоты и 6% уксусной кислоты добавили 55 мл раствора гидроксида натрия с концентрацией 2,2 моль/л. Полученный раствор осторожно выпарили и получили 8,382 г сухого остатка. Определите его состав в массовых долях и количественно оцените соотношение кислотных свойств муравьиной и уксусной кислот, считая, что при выпаривании не происходит смещения установившегося в растворе равновесия и избыток кислот полностью испаряется. Объясните полученный результат.
103. В сосуд емкостью 1 л под давлением при некоторой температуре поместили по 0,5 моль кислорода и оксида азота(II). Через некоторое время концентрация оксида азота (IV) в сосуде составила 0,1 моль/л, а скорость прямой реакции, измеренной по кислороду, была в 2 раза больше скорости обратной реакции, измеренной по оксиду азота (IV). Определите молярные концентрации веществ в смеси после достижения равновесия, если известно, что скорость прямой реакции прямопропорциональна концентрации оксида азота (II), а скорость обратной реакции прямопропорциональна концентрации оксида азота (IV).
104. *Замкнутый сосуд под давлением заполнили смесью хлороводорода с кислородом, затем сосуд нагревали при некоторой температуре до установления химического равновесия:  $4HCl_{(г)} + O_{2(г)} \rightleftharpoons 2H_2O_{(г)} + 2Cl_{2(г)}$ . Вычислите константу равновесия и исходные концентрации  $O_2$  и  $HCl$ , если известно, что равновесные кон-*

центрации  $H_2O$ ,  $Cl_2$ ,  $HCl$  и  $O_2$  в этих условиях составляли 0,2; 0,2; 0,4 и 0,6 моль/л соответственно.

105. Произведение растворимости бромида серебра при 25 °С составляет  $6 \times 10^{-13}$ . В каком минимальном объеме воды можно растворить 150 мг этой соли?

### 1.7. Электрохимический ряд активности металлов

**Металл вытесняет из водных растворов солей другие металлы, стоящие правее его в электрохимическом ряду активности. Исключение составляют щелочные и щелочноземельные металлы, которые при обычных условиях реагируют с водой и вытесняют водород и поэтому не могут вытеснить другой металл, стоящий в ряду активности до водорода.**

**Пример 65.** В 192 мл раствора нитрата свинца (II) с массовой долей соли 30 % и плотностью 1,15 г/мл опустили цинковую пластинку массой 100 г. Через некоторое время пластинку вынули, промыли водой, высушили и взвесили. Ее масса оказалась равной 121,3 г. Определите массовые доли веществ в оставшемся растворе.

Решение:

1) Цинк, как более активный металл вытесняет из растворенной соли свинец, который оседает на пластинке. Таким образом, изменение массы пластинки представляет собой разницу между массой осевшего на пластинку свинца и массой цинка, перешедшего в раствор. Определяем это изменение массы:

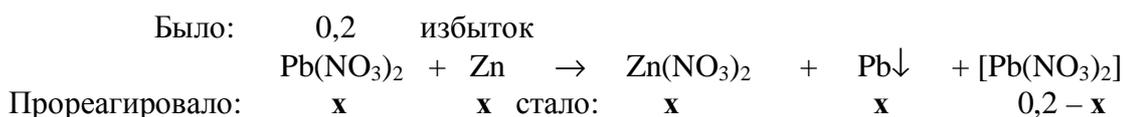
$$\Delta m = 121,3 - 100 = 21,3 \text{ г.}$$

2) Определяем массу исходного раствора и количество вещества содержащегося в нем нитрата свинца:

$$m(\text{исходного раствора}) = 192 \cdot 1,15 = 220,8 \text{ г.}$$

$$n[\text{Pb}(\text{NO}_3)_2] = 220,8 \cdot 0,3 / 331 = 0,2 \text{ моль.}$$

3) Поскольку нам неизвестно, весь ли свинец был вытеснен из раствора, обозначим количество вытесненного из раствора свинца за  $x$  и запишем уравнение химической реакции:



$$\Delta m = m(\text{Pb}) - m(\text{Zn}) = 207x - 65x = 142x; \quad 142x = 21,3; \quad x = 0,15.$$

Таким образом, в растворе появилось 0,15 моль нитрата цинка и осталось  $0,2 - 0,15 = 0,05$  моль нитрата свинца.

4) Определяем массу конечного раствора и массовые доли содержащегося в нем веществ:

Масса раствора уменьшилась ровно на столько, насколько увеличилась масса пластинки, поэтому

$$m(\text{конечного раствора}) = 220,8 - 21,3 = 199,5 \text{ г.}$$

$$m[\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \text{ в конечном растворе}] = 0,15 \cdot 189 = 28,35 \text{ г.}$$

$$m[\text{Pb}(\text{NO}_3)_2 \text{ в конечном растворе}] = 0,05 \cdot 331 = 16,55 \text{ г.}$$

$$\omega[\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \text{ в конечном растворе}] = 28,35 / 199,5 = 0,142.$$

$$\omega[\text{Pb}(\text{NO}_3)_2 \text{ в конечном растворе}] = 16,55 / 199,5 = 0,083.$$

Ответ:  $\omega[\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \text{ в конечном растворе}] = 14,2\%$ ;  $\omega[\text{Pb}(\text{NO}_3)_2 \text{ в конечном растворе}] = 8,3\%$ .

**Пример 66.** В 60 мл раствора с плотностью 1,182 г/мл, содержащего нитрат свинца (II) и нитрат меди (II) с массовыми долями 16,34 и 2,65 % соответственно, насыпали 5,6 г железных опилок. Через некоторое время раствор отфильтровали. Масса твердых веществ составила 8,7 г. Определите массовые доли веществ в полученном растворе.

Решение:

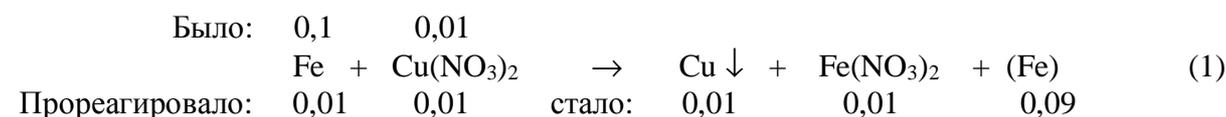
1) Определяем количества исходных веществ:

$$m(\text{исходного раствора}) = 60 \cdot 1,182 = 70,92 \text{ г.}$$

$$v[\text{Pb}(\text{NO}_3)_2] = 70,92 \cdot 0,1634 / 331 = 0,035 \text{ моль. } v[\text{Cu}(\text{NO}_3)_2] = 70,92 \cdot 0,0265 / 188 = 0,01 \text{ моль.}$$

$$v(\text{Fe}) = 5,6 / 56 = 0,1 \text{ моль.}$$

2) Сначала железо вытесняет менее активный металл, т.е. медь:

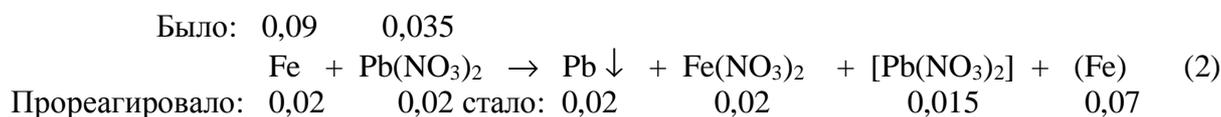


$\Delta m(\text{твердых веществ в этой реакции}) = m(\text{выделившейся меди}) - m(\text{растворившегося железа})$ . Если медь выделилась полностью, то  $\Delta m = 0,01 \cdot 64 - 0,01 \cdot 56 = 0,08 \text{ г.}$

Согласно условию задачи изменение массы твердых веществ составило  $8,7 - 5,6 = 3,1 \text{ г.}$  Следовательно, первая реакция прошла полностью, и затем началось вытеснение свинца:



Изменение массы твердых веществ в результате этой реакции составило  $3,1 - 0,08 = 3,02 \text{ г.}$  Если бы вторая реакция прошла полностью (железо имеется в избытке), то изменение массы в результате ее составило  $207 \cdot 0,035 - 56 \cdot 0,035 = 5,285 \text{ г,}$  что больше изменения массы согласно условию задачи. Таким образом, вторая реакция прошла не до конца. Допустим, выделилось  $x$  моль свинца, тогда  $\Delta m = 207x - 56x = 151x$ .  $151x = 3,02$ .  $x = 3,02 / 151 = 0,02 \text{ моль.}$



3) Рассчитываем массовые доли веществ в полученном растворе:

$$m[\text{Fe}(\text{NO}_3)_2] = (0,01 + 0,02) \cdot 180 = 3,6 \text{ г. } m[\text{Pb}(\text{NO}_3)_2] = 0,015 \cdot 331 = 4,965 \text{ г.}$$

$$m(\text{конечного раствора}) = 70,92 - 3,1 = 67,82 \text{ г.}$$

$$\omega[\text{Fe}(\text{NO}_3)_2] = 3,6 / 67,82 = 0,0531. \quad \omega[\text{Pb}(\text{NO}_3)_2] = 4,965 / 67,82 = 0,0732.$$

Ответ:  $\omega[\text{Fe}(\text{NO}_3)_2] = 5,31 \%$ ;  $\omega[\text{Pb}(\text{NO}_3)_2] = 7,32 \%$ .

### **Задачи для самостоятельного решения**

106. 40 г порошка магния поместили в раствор сульфата цинка массой 596 г. Через некоторое время металлический порошок отделили от раствора, высушили и взвесили. Масса порошка оказалась равной 56 г. Определите массовую долю сульфата магния в растворе, оставшемся после отделения металлического порошка.
107. В раствор, содержащий нитрат железа(II) и нитрат железа (III) с равными молярными концентрациями опустили цинковую пластинку массой 6,5 г. После окончания химических реакций масса пластинки стала равна 5,995 г. Пластинку вынули из раствора, и растворили при нагревании в 286,5 мл раствора серной кислоты с массовой долей кислоты 95% и плотностью 1,8 г/мл. Определите объем выделившегося при этом газа (н.у.) и массовые доли веществ в полученном растворе.
108. Цинковую пластинку массой 6,5 г опустили в раствор, содержащий нитрат железа (II) и нитрат железа (III), объемом 100 мл и плотностью 1,1 г/мл. После окончания химических реакций масса пластинки уменьшилась до 5,905 г. Пластинку вынули из раствора, и растворили при нагревании в избытке концентрированной серной кислоты, в результате чего выделилось 2,464 л газа (н.у.). Определите молярные концентрации и массовые доли веществ в исходном растворе нитратов железа.
109. В 40 мл раствора с плотностью 1,25 г/мл, содержащего 10% (по массе) нитрата натрия, нитрат серебра и нитрат меди погрузили цинковую пластинку массой 9,75 г. После окончания всех реакций массовая доля нитрата натрия в растворе увеличилась до 10,81%. Пластинку вынули из раствора, и обработали избытком соляной кислоты, в результате чего выделилось 2,128 л газа (н.у.). Определите массовые доли нитрата меди и нитрата серебра в исходном растворе.
110. В раствор, содержащий смесь хлорида железа (II) и хлорида железа (III), в котором концентрации двух солей равны между собой, насыпали 4,55 г цинкового порошка. После окончания химических реакций масса осадка оказалась равной 3,54 г. Осадок отфильтровали, и поместили в раствор сульфата меди массой 40 г. Определите молярные концентрации веществ в конечном растворе после окончания всех химических реакций, если известно, что его плотность равна 1,1 г/мл, а масса осадка стала 3,68 г.
111. В 400 мл раствора с плотностью 1,25 г/мл, содержащего нитрат меди с массовой долей 18,8 % и нитрат серебра с массовой долей 10,2 % насыпали 100 г железных опилок. Через некоторое время раствор отфильтровали. Масса твердых веществ стала 128,4 г. Определите массовые доли веществ в полученном растворе, если известно, что при добавлении в него соляной кислоты не происходит никаких видимых изменений. Учтите, что в реакции с ионами меди образуются ионы железа +2, а при реакции с ионами серебра образуются ионы железа +3.
112. Цинковую пластину поместили в раствор сульфата железа (II). Через некоторое время масса пластины уменьшилась на 1,91 %. На сколько процентов изменится масса точно такой же пластины, если ее погрузить в раствор нитрата ртути (II), при

условии, что изменение количества вещества нитрата ртути (II) в растворе будет в 2 раза больше, чем изменение количества вещества сульфата железа (II) в первом случае.

113. В 60 мл раствора хлорида ртути (II) с массовой долей соли 0,06 и плотностью 1,133 г/мл насыпали 2,7 г алюминиевых опилок и выдерживали до окончания химических реакций. Определите массы веществ, выделившихся из раствора и массовую долю вещества в полученном растворе.

## 1.8. Электролиз

### Последовательность процессов, происходящих на катоде:

- 1) Восстановление ионов металлов, стоящих в ряду активности после водорода (первым восстанавливается металл, находящийся в этом ряду правее)



- 2) Одновременное восстановление ионов металлов, стоящих в ряду активности между алюминием и водородом и восстановление ионов водорода



- 3) Если в растворе находятся только ионы алюминия или ионы металлов, стоящих в ряду активности левее алюминия, то происходит восстановление только ионов водорода (если среда кислая) или молекул воды (если среда нейтральная или щелочная)



### Последовательность процессов, происходящих на аноде:

- 1) Если в растворе присутствуют ионы галогенов (кроме фтора) или серы, то они окисляются до простых веществ



- 2) Если в растворе присутствуют только анионы кислородсодержащих кислот или гидроксид-ионы, то происходит окисление молекул воды (кислая среда) или гидроксид-ионов (нейтральная или щелочная среда)



*Закон Фарадея:*

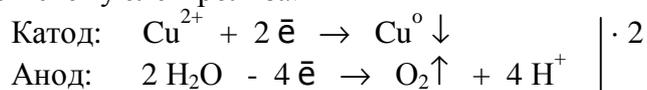
$$m = \frac{M}{F \cdot n_{\bar{e}}} \cdot I \cdot t$$

*m – масса вещества, выделяющегося при электролизе, M – молярная масса этого вещества, F – число Фарадея, равное 96500, n<sub>e</sub> – количество электронов (моль), участвующих в образовании одного моля данного вещества, I – сила тока (ампер), t – время (сек).*

**Пример 67.** Через 100 г раствора сульфата меди с массовой долей соли 10 % пропускали электрический ток до тех пор, пока на аноде не выделилось 560 мл газа (н.у.). Определите массовые доли веществ в образовавшемся растворе.

Решение:

1) Составляем схему электролиза:



Суммарное уравнение в ионном виде:



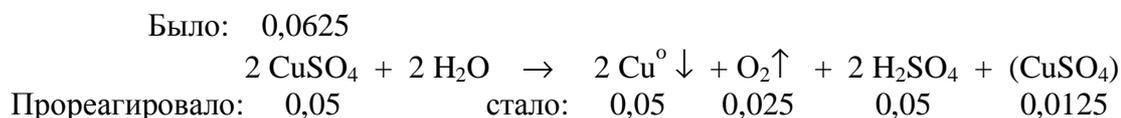
Суммарное уравнение в молекулярном виде:



2) Определяем количества веществ сульфата меди в исходном растворе и кислорода, выделившегося на аноде:

$$v(\text{CuSO}_4) = 100 \cdot 0,1 / 160 = 0,0625 \text{ моль. } v(\text{O}_2) = 0,560 / 22,4 = 0,025 \text{ моль.}$$

Если бы электролиз сульфата меди прошел полностью, то, согласно уравнению реакции, кислорода должно было бы выделиться  $0,0625 / 2 = 0,03125$  моль, что больше, чем выделилось на самом деле. Следовательно, электролиз прошел не до конца и в растворе остался сульфат меди:



3) Определяем массовые доли веществ в конечном растворе:

$$m(\text{H}_2\text{SO}_4) = 98 \cdot 0,05 = 4,9 \text{ г. } m(\text{CuSO}_4 \text{ в конечном растворе}) = 0,0125 \cdot 160 = 2 \text{ г.}$$

$$m(\text{конечного раствора}) = m(\text{исходного раствора}) - m(\text{Cu}) - m(\text{O}_2) = 100 - 0,05 \cdot 64 - 0,025 \cdot 32 = 96 \text{ г.}$$

$$\omega(\text{H}_2\text{SO}_4) = 4,9 / 96 = 0,051. \quad \omega(\text{CuSO}_4 \text{ в конечном растворе}) = 2 / 96 = 0,0208$$

Ответ:  $\omega(\text{H}_2\text{SO}_4) = 5,1 \%$ ;  $\omega(\text{CuSO}_4) = 2,08 \%$ .

**Пример 68.** Электролиз 200 г раствора сульфата меди (II) с массовой долей соли 5% продолжали до тех пор, пока масса раствора не уменьшилась на 4 г. Определите массовые доли веществ в оставшемся растворе и количества продуктов, выделившихся на электродах.

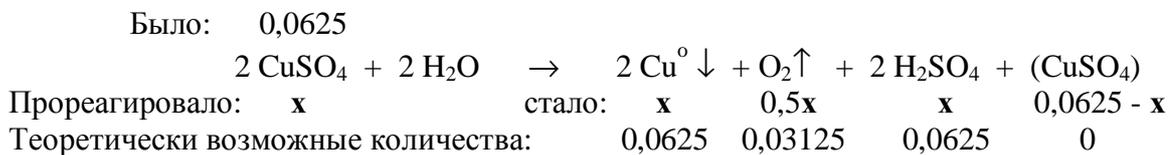
Решение:

Схема электролиза и уравнение реакции электролиза такие же, как в предыдущем примере.

1) Рассчитываем количество вещества сульфата меди в исходном растворе:

$$v(\text{CuSO}_4) = 200 \cdot 0,05 / 160 = 0,0625 \text{ моль.}$$

2) Определяем, до конца ли прошел электролиз:



Изменение массы раствора – это сумма масс веществ, выделившихся на электродах:  $\Delta m = m(\text{Cu}^0) + m(\text{O}_2)$ .

Если электролиз прошел бы полностью, то  $\Delta m = 0,0625 \cdot 64 + 0,03125 \cdot 32 = 5 \text{ г.}$

Поскольку реальное изменение массы меньше теоретического, электролиз прошел не до конца и, обозначив количество вещества выделившейся меди за x, находим:

$$\Delta m = 64x + 32 \cdot 0,5x = 80x. \quad 80x = 4; \quad x = 4 / 80 = 0,05 \text{ моль.}$$

$$v(\text{Cu}^0) = 0,05 \text{ моль; } v(\text{O}_2) = 0,5 \cdot 0,05 = 0,025 \text{ моль.}$$

$$m(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,05 \cdot 98 = 4,9 \text{ г;}$$

$$m(\text{оставшегося CuSO}_4) = (0,0625 - 0,05) \cdot 160 = 2 \text{ г.}$$

$$m(\text{конечного раствора}) = 200 - 4 = 196 \text{ г.}$$

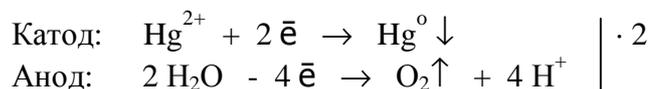
$$\omega(\text{H}_2\text{SO}_4) = 4,9 / 196 = 0,025; \quad \omega(\text{CuSO}_4) = 2 / 196 = 0,0102$$

Ответ:  $v(\text{Cu}^0) = 0,05 \text{ моль; } v(\text{O}_2) = 0,025 \text{ моль; } \omega(\text{H}_2\text{SO}_4) = 2,5 \text{ %; } \omega(\text{CuSO}_4) = 1,02 \text{ %.}$

**Пример 69.** После электролиза 250 г раствора нитрата ртути (II) с массовой долей соли 19,5 % масса раствора уменьшилась на 50,55 г. Определите массы веществ, выделившихся на электродах, и молярную концентрацию вещества в конечном растворе, если его плотность составила 1,06 г/мл.

Решение:

1) Составляем схему электролиза:



Суммарное уравнение в ионном виде:



Суммарное уравнение в молекулярном виде:



- 2) Определяем количество вещества нитрата ртути в исходном растворе, и проверяем, до конца ли прошел электролиз:

$$v[\text{Hg}(\text{NO}_3)_2] = 250 \cdot 0,195 / 325 = 0,15 \text{ моль.}$$

Если электролиз прошел до конца, то из раствора должно выделиться 0,15 моль Hg и 0,075 моль O<sub>2</sub> и в растворе должно образоваться 0,3 моль азотной кислоты:

$$\Delta m = 0,15 \cdot 201 + 0,075 \cdot 32 = 30,15 + 2,4 = 32,55 \text{ г.}$$

В действительности масса раствора уменьшилась еще больше. Это означает, что после того, как электролиз нитрата ртути закончился, электрический ток не выключили, и пошел электролиз воды:



Изменение массы в последней реакции составило  $50,55 - 32,55 = 18$  г, т.е. электролизу подвергся 1 моль воды и дополнительно на катоде выделился 1 моль водорода, а на аноде 0,5 моль кислорода.

- 3) Определяем массы веществ, выделившихся на электродах, и молярную концентрацию вещества в конечном растворе:

$$m(\text{Hg}) = 0,15 \cdot 201 = 30,15 \text{ г}; \quad m(\text{H}_2) = 1 \cdot 2 = 2 \text{ г}; \quad m(\text{O}_2) = (0,075 + 0,5) \cdot 32 = 18,4 \text{ г.}$$

$$m(\text{конечного раствора}) = 250 - 50,55 = 199,45 \text{ г.}$$

$$V(\text{конечного раствора}) = 199,45 / 1,06 = 188,2 \text{ мл} = 0,1882 \text{ л.}$$

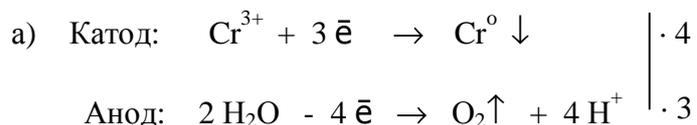
$$C(\text{HNO}_3) = 0,3 / 0,1882 = 1,594 \text{ моль/л.}$$

Ответ:  $m(\text{Hg}) = 30,15$  г;  $m(\text{O}_2) = 18,4$  г;  $m(\text{H}_2) = 2$  г;  $C(\text{HNO}_3) = 1,594$  моль/л.

**Пример 70.** 588 г раствора сульфата хрома (III) с массовой долей соли 15 % подвергали электролизу до тех пор, пока масса раствора не стала равной 569,2 г. Определите массовые доли веществ в полученном растворе, если известно, что на электродах выделилось 10,08 л газов (н.у.).

Решение:

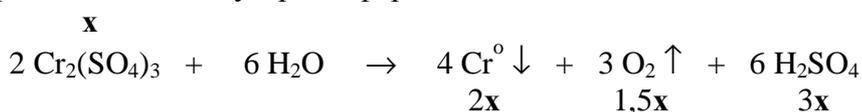
- 1) Составляем схему электролиза, учитывая, что хром в ряду активности металлов стоит левее водорода, поэтому на катоде параллельно происходят два процесса:

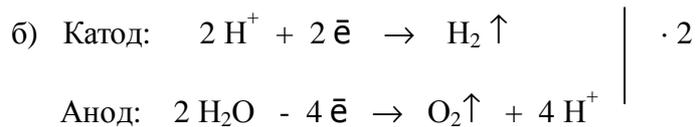


Суммарное уравнение в ионной форме:



Суммарное уравнение в молекулярной форме:

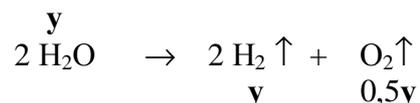




Суммарное уравнение в ионной форме:



Суммарное уравнение в молекулярной форме:



- 2) Рассчитываем количество вещества сульфата хрома в исходном растворе и количество вещества газов, выделившихся на электродах:

$$\begin{aligned} \nu[\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3] &= 588 \cdot 0,15 / 392 = 0,225 \text{ моль. } \nu(\text{газов}) = 10,08 / 22,4 = 0,45 \text{ моль.} \\ \Delta m(\text{раствора}) &= 588 - 569,2 = 18,8 \text{ г.} \end{aligned}$$

- 3) Обозначим количество вещества сульфата хрома, подвергшегося электролизу, за  $x$  и количество вещества воды, подвергшейся электролизу, за  $y$ .

$$\begin{aligned} \Delta m(\text{раствора}) &= m(\text{Cr}) + m(\text{H}_2) + m(\text{O}_2) = 2x \cdot 52 + y \cdot 2 + (1,5x + 0,5y) \cdot 32 \\ &= 152x + 18y. \\ 152x + 18y &= 18,8. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \nu(\text{газов, выделившихся при электролизе}) &= 1,5x + 1,5y. \\ 1,5x + 1,5y &= 0,45; \quad x + y = 0,3. \end{aligned}$$

$$\begin{array}{l|l|l|l} 152x + 18y = 18,8 & 152x + 18y = 18,8 & 134x = 13,4 & y = 0,3 - 0,1 \\ x + y = 0,3 & \cdot 18 \quad 18x + 18y = 5,4 & x = 0,1 & y = 0,2 \end{array}$$

- 4) Определяем массовые доли веществ в конечном растворе:

$$\begin{aligned} \nu(\text{H}_2\text{SO}_4) &= 3 \cdot 0,1 = 0,3 \text{ моль.} \\ m(\text{H}_2\text{SO}_4) &= 0,3 \cdot 98 = 29,4 \text{ г. } \omega(\text{H}_2\text{SO}_4) = 29,4 / 569,2 = 0,0517. \\ \nu[\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 \text{ оставшегося в растворе}] &= 0,225 - 0,1 = 0,125 \text{ моль.} \\ m[\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 \text{ оставшегося в растворе}] &= 0,125 \cdot 392 = 49 \text{ г.} \\ \omega[\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 \text{ в конечном растворе}] &= 49 / 569,2 = 0,0861. \end{aligned}$$

Ответ:  $\omega(\text{H}_2\text{SO}_4) = 5,17 \%$ ;  $\omega[\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3] = 8,61 \%$ .

**Пример 71.** Через 136,4 мл раствора плотностью 1,1 г/мл, содержащего нитрат меди с массовой долей 6,27 % и хлорид натрия с массовой долей 11,7 %, пропустили постоянный электрический ток. В результате этого на электродах выделилось 6,72л газов (н.у.). Определите массовые доли веществ в растворе после электролиза.

Решение:

- 1) Определяем состав исходного раствора и количество вещества выделившихся газов:

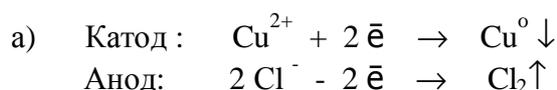
$$m(\text{исходного раствора}) = 136,4 \cdot 1,1 = 150 \text{ г.}$$

$$v[\text{Cu}(\text{NO}_3)_2] = 150 \cdot 0,0627 / 188 = 0,05 \text{ моль. } v(\text{NaCl}) = 150 \cdot 0,117 / 58,5 = 0,2 \text{ моль.}$$

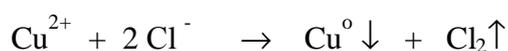
В растворе содержится 0,05 моль ионов  $\text{Cu}^{2+}$ , 0,1 моль ионов  $\text{NO}_3^-$ , 0,2 моль ионов  $\text{Na}^+$  и 0,2 моль ионов  $\text{Cl}^-$ .

$$v(\text{газов}) = 6,72 / 22,4 = 0,3 \text{ моль.}$$

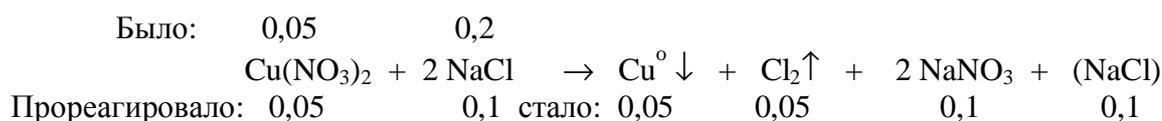
2) Составляем схемы электролиза и определяем количества образовавшихся веществ:



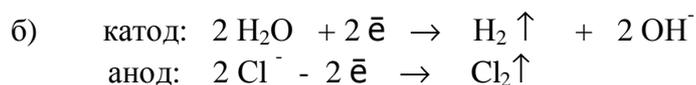
Суммарное уравнение в ионной форме:



Суммарное уравнение в молекулярной форме:



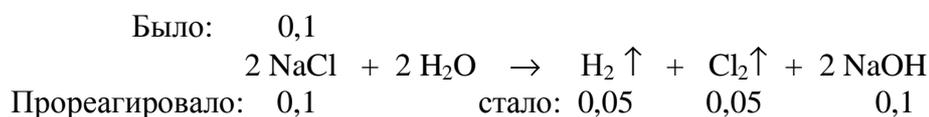
В этой реакции выделилось только 0,05 моль газа, следовательно, электролиз пошел дальше:



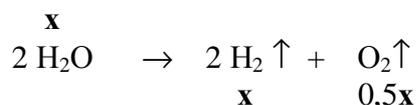
Суммарное уравнение в ионной форме:



Суммарное уравнение в молекулярной форме:



В этой реакции выделилось  $0,05 + 0,05 = 0,1$  моль газов. Всего в двух реакциях электролиза выделилось  $0,05 + 0,1 = 0,15$  моль газов. Оставшиеся  $0,3 - 0,15 = 0,15$  моль газов должны выделиться в результате последующего электролиза воды:



$$\text{х} + 0,5\text{х} = 0,15; \text{х} = 0,1.$$

3) Определяем массу конечного раствора и массовые доли содержащихся в нем веществ:

$$m(\text{конечного раствора}) = m(\text{исходного раствора}) - m(\text{Cu}) - m(\text{Cl}_2) - m(\text{O}_2) - m(\text{H}_2) = 150 - 0,05 \cdot 64 - (0,05 + 0,05) \cdot 71 - 0,1 \cdot 0,5 \cdot 32 - (0,05 + 0,1) \cdot 2 = 137,8 \text{ г.}$$

$$\omega(\text{NaNO}_3) = 0,1 \cdot 85 / 137,8 = 0,0618. \quad \omega(\text{NaOH}) = 0,1 \cdot 40 / 137,8 = 0,029.$$

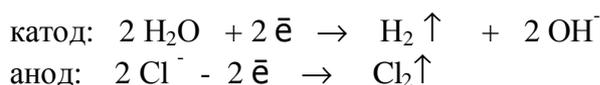
Ответ:  $\omega(\text{NaNO}_3) = 6,18 \%$ ;  $\omega(\text{NaOH}) = 2,9 \%$ .

**Пример 72.** В два последовательно соединенных электролизера поместили по 100 г растворов: в первый 10 %-ного (по массе) хлорида натрия, во второй - 10 %-ного (по массе) хлорида золота (III) и включили ток. Через некоторое время масса раствора в первом электролизере уменьшилась на 3,285 г. Определите массу золота, выделившегося во втором электролизере.

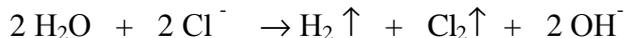
Решение:

1) Составляем схемы электролиза:

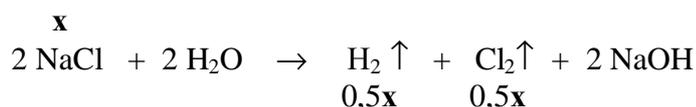
Первый электролизер:



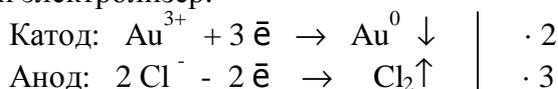
Суммарное уравнение в ионной форме:



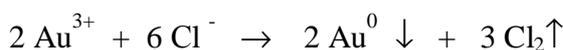
Суммарное уравнение в молекулярной форме:



Второй электролизер:



Суммарное уравнение в ионной форме:



Суммарное уравнение в молекулярной форме:



2) Определяем количества веществ в исходных растворах:

$$v(\text{NaCl}) = 100 \cdot 0,1 / 58,5 = 0,171 \text{ моль}; \quad v(\text{AuCl}_3) = 100 \cdot 0,1 / 303,5 = 0,0329 \text{ моль.}$$

3) Определяем количество хлорида натрия, вступившего в реакцию:

$$\Delta m = m(\text{H}_2) + m(\text{Cl}_2) = 0,5x \cdot 2 + 0,5x \cdot 71 = 36,5x.$$

$$36,5x = 3,285; x = 0,09 \text{ моль.}$$

Следовательно, электролиз хлорида натрия в первом электролизере прошел не полностью.

- 4) Последовательное соединение электролизеров означает, что через каждый из них проходит одинаковое количество электричества.

При окислении одного моля ионов  $\text{Cl}^-$  высвобождается 1 моль электронов, следовательно, через первый электролизер прошло 0,09 моль электронов. Такое же количество электронов должно пройти и через другой электролизер.

На восстановление одного моля золота необходимо 3 моль электронов, поэтому количество вещества полученного золота должно быть в три раза меньше количества прошедших через электролизер электронов:

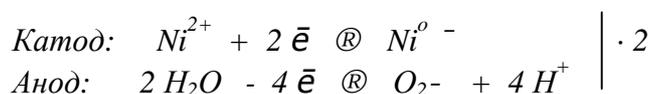
$$v(\text{Au}) = 0,09 / 3 = 0,03 \text{ моль. } m(\text{Au}) = 0,03 \cdot 197 = 5,91 \text{ г.}$$

Ответ:  $m(\text{Au}) = 5,91 \text{ г.}$

Пример 73. Определите массу никеля, которая может выделиться при электролизе раствора нитрата никеля (II) за 30 минут при силе тока 0,5 А. Выход металла по току составляет 60 %.

Решение:

- 1) Составляем схему электролиза:



Суммарное уравнение в ионном виде:



Суммарное уравнение в молекулярном виде:



Одновременно с этим процессом происходит электролиз воды. Это причина того, что выход никеля по току составляет не 100 %, а 60 %.

- 2) Находим массу никеля ( $t = 30 \cdot 60 = 1800 \text{ сек, } n_{\bar{e}} = 2$ ):

$$m(\text{Ni})_{\text{теоретическая}} = \frac{M(\text{Ni})}{F \cdot n_{\bar{e}}} \cdot I \cdot t = \frac{59}{96500 \cdot 2} \cdot 0,5 \cdot 1800 = 0,275 \text{ г.}$$

$$m(\text{Ni})_{\text{практическая}} = 0,275 \cdot 0,6 = 0,165 \text{ г.}$$

Ответ:  $m(\text{Ni}) = 0,165 \text{ г}$ .

### **Задачи для самостоятельного решения**

114. После электролиза 250 г раствора нитрата ртути (II) с массовой долей соли 19,5 % масса раствора уменьшилась на 10,85 г. Определите количества веществ, выделившихся на электродах и массовые доли веществ в оставшемся растворе.
115. 50 г водного раствора сульфата меди подвергли электролизу, при этом на аноде выделилось 2,8 л газа (н.у.). Определите массовую долю сульфата меди в исходном растворе, если известно, что после электролиза масса раствора составила 42,4 г.
116. Определите состав раствора (в массовых долях), полученного в результате электролиза 100 г раствора сульфата меди, если известно, что во время электролиза на аноде выделилось 2,8 л газа (н.у.), а масса раствора после электролиза составила 92,4 г.
117. 117 г раствора хлорида натрия с массовой долей соли 5 % в течение некоторого времени подвергали электролизу. При этом на электродах выделилось 8,96 л газов (н.у.). Определите состав раствора после электролиза (в массовых долях).
118. В результате пропускания постоянного тока через 400 мл раствора сульфата кобальта (II) с массовой долей соли 10 % и плотностью 1,1625 г/мл на электродах выделилось 8,96 л газов (н.у.), при смешивании которых получается смесь с плотностью по водороду 8,5. Определите массовые доли веществ в растворе после включения тока.
119. Газы, образовавшиеся при пропускании постоянного электрического тока через 234,8 мл раствора сульфата никеля (II) с массовой долей соли 15 % и плотностью 1,1 г/мл, смешали и получили 17,92 л газовой смеси с плотностью 0,5915 г/л (н.у.). Определите молярные концентрации веществ в оставшемся растворе, если его плотность равна 1,12 г/мл.
120. Газы, выделившиеся на электродах при электролизе 300 г раствора сульфата цинка с плотностью 1,2 г/мл и концентрацией соли 1,2 моль/л, смешали и получили 35,84 л газовой смеси (н.у.) с плотностью по воздуху 0,4569. Определите массовые доли веществ, содержащихся в растворе после электролиза.
121. Через 100 г раствора, содержащего хлорид калия (массовая доля 2,235 %) и нитрат ртути (массовая доля 9,75 %) пропускали электрический ток. Электролиз прекратили, когда масса раствора уменьшилась на 5,165 %. Определите массовые доли веществ в конечном растворе и количества веществ, выделившихся на электродах.
122. В результате электролиза 50 г раствора, содержащего хлорид калия с массовой долей 14,9 % и нитрат меди с массовой долей 7,52 % на электродах выделилось 5,824 л газов (н.у.). Определите состав оставшегося раствора в массовых долях.
123. 200 г раствора, содержащего сульфат меди с массовой долей 8 % и хлорид натрия с массовой долей 11,7 %, подвергли электролизу. Определите массовые доли веществ в растворе после электролиза, если известно, что масса раствора уменьшилась на 17,15 г.
124. 300 г раствора, содержащего сульфат меди с массовой долей 8 % и хлорид натрия с массовой долей 11,7 %, подвергли электролизу. Определите массовые доли веществ в растворе после электролиза, если известно, что объем газов, выделившихся на электродах при н.у. составил 6,72 л.
125. Через 178,6 мл раствора плотностью 1,12 г/мл, содержащего по массе 14,9 % хлорида калия и 8,125 % нитрата ртути пропустили электрический ток, в результате

чего масса раствора уменьшилась до 179,1 г. Определите массовые доли в оставшемся растворе и количества веществ, выделившихся на электродах.

126. В результате электролиза 150 г раствора хлорида натрия с массовой долей соли 7,8 % на электродах выделилось 11,2 л газов (н.у.) и образовался раствор с плотностью 1,1 г/мл. Какой максимальный объем (н.у.) оксида углерода (IV) прореагирует с 10 мл полученного раствора?
127. 52,96 мл раствора с плотностью 1,133 г/мл, содержащего по массе 6,8 % хлорида ртути (II), 9,93 % хлорида меди (II) и 5 % нитрата натрия, подвергали электролизу до тех пор, пока масса раствора не достигла 53,22 г. Определите массы веществ, выделившихся на электродах и массовые доли веществ в конечном растворе.
128. Раствор с плотностью 1,125 г/мл, объемом 140 мл, содержащий по массе 8 % гидрокарбоната натрия и 3,714 % хлорида натрия подвергали электролизу до тех пор, пока на аноде не выделилось 10,64 л газов. Определите массовые доли веществ в растворе после электролиза.
129. Через два последовательно соединенных электролизера, один из которых содержал 100 г раствора нитрата серебра с массовой долей соли 18 %, а второй - 100 г раствора серной кислоты с массовой долей кислоты 20 %, пропускали электрический ток до тех пор, пока масса катода в первом электролизере не увеличилась на 10,8 г. Определите массу раствора, оставшегося во втором электролизере.
130. *Сколько времени необходимо проводить электролиз раствора хлорида золота (III) с силой тока 1,5 А, чтобы получить на катоде золотое покрытие массой 0,15 г.*

## Часть 2. Подходы к решению сложных комбинированных задач

### 2.1. Общие рекомендации

#### 2.1.1. Осмысление задачи

Не торопитесь! Внимательно прочитайте всю задачу до конца, по меньшей мере, 2 раза. Постарайтесь уяснить себе сущность всех действий, которые в ней совершаются и явлений, которые в ней происходят.

Для удобства решения и лучшего понимания цифровых данных часто может быть полезна краткая запись условий задачи. Не забывайте в кратком условии достаточно четко указывать, к чему относится каждая цифра или условие.

Если возникают затруднения в понимании смысла задачи, вам может помочь составление графологической схемы задачи.

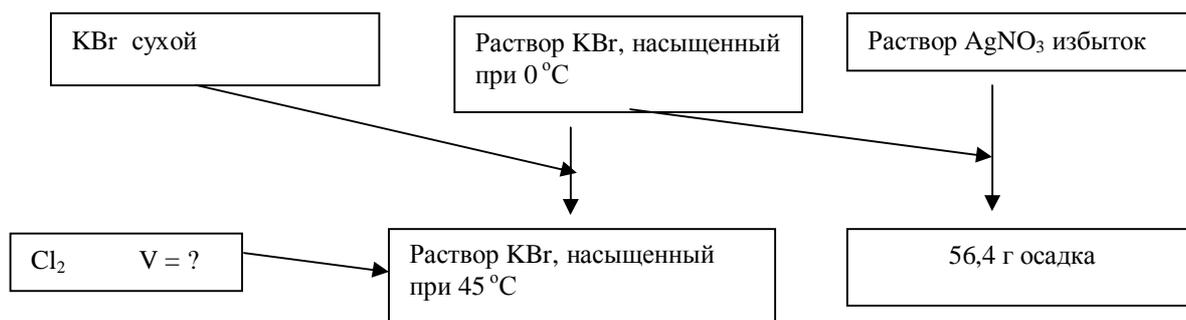
**Пример 74.** Растворимость бромида калия при  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  и при  $45\text{ }^{\circ}\text{C}$  составляет 50 г и 80 г в 100 г воды соответственно. Вычислите, сколько литров хлора (н.у.) прореагирует с раствором, полученным насыщением бромидом калия при  $45\text{ }^{\circ}\text{C}$  такого количества его раствора, насыщенного при  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , которое при взаимодействии с избытком раствора нитрата серебра образует 56,4 г осадка.

Решение:

1) Запишем краткое условие задачи:

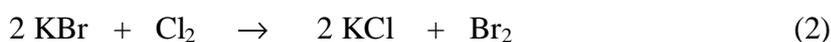
Дано:  $s(\text{KBr при } 0\text{ }^{\circ}\text{C}) = 50\text{ г} / 100\text{ г воды}$ ;  $s(\text{KBr при } 45\text{ }^{\circ}\text{C}) = 80\text{ г} / 100\text{ г воды}$ ;  
 $m(\text{осадка}) = 56,4\text{ г}$   
Найти:  $V(\text{Cl}_2) = ?$

2) Составляем графологическую схему задачи:



Из схемы видно, что по массе осадка можно вычислить количество бромида калия в исходном растворе, затем, используя данные по растворимости и учитывая, что масса воды в обоих насыщенных растворах одинакова, вычислить количество бромида калия во втором растворе и по нему определить объем хлора, вступившего в реакцию.

3) Записываем уравнения химических реакций:



- 4) Рассчитываем количество вещества бромида серебра и по нему массу бромида калия в исходном растворе:

$$v(\text{AgBr}) = 56,4 / 188 = 0,3 \text{ моль. } v(\text{KBr}) \text{ в реакции (1)} = v(\text{AgBr}) = 0,3 \text{ моль.}$$
$$m(\text{KBr в исходном растворе}) = 0,3 \cdot 119 = 35,7 \text{ г.}$$

- 5) Определяем массу воды в исходном растворе, составляя пропорцию,:

$$\begin{array}{l} \text{При } 0^\circ\text{C в } 100 \text{ г воды растворяется } 50 \text{ г KBr} \\ \text{в } x \text{ г воды} \quad \quad \quad \text{—} \quad \quad \quad 35,7 \text{ г KBr} \quad \quad x = 35,7 \cdot 100 / 50 = 71,4 \text{ г.} \end{array}$$

- 6) Определяем массу и количество вещества KBr в растворе, насыщенном при  $50^\circ\text{C}$ , учитывая, что масса воды в обоих растворах одинакова.:

$$\begin{array}{l} \text{При } 50^\circ\text{C в } 100 \text{ г воды растворяется } 80 \text{ г KBr} \\ \text{в } 71,4 \text{ г воды} \quad \quad \quad \text{—} \quad \quad \quad y \text{ г KBr} \quad \quad y = 71,4 \cdot 80 / 100 = 57,12 \text{ г.} \end{array}$$

$$v(\text{KBr}) \text{ в реакции (2)} = 57,12 / 119 = 0,48 \text{ моль.}$$

- 7) Определяем объем хлора, который может прореагировать с конечным раствором,:

$$\text{Согласно уравнению реакции (2) } v(\text{Cl}_2) = 0,5 \cdot v(\text{KBr}) = 0,5 \cdot 0,48 = 0,24 \text{ моль.}$$
$$V(\text{Cl}_2) = 0,24 \cdot 22,4 = 5,376 \text{ л.}$$

Ответ:  $V(\text{Cl}_2) = 5,376 \text{ л.}$

### 2.1.2. Химизм процессов

Определите сначала, происходят ли какие-либо химические превращения с веществами, описываемыми в задаче. Если да, то постарайтесь составить уравнения соответствующих химических реакций. В большинстве задач, если вы хорошо разбираетесь в теоретическом материале, это не составляет трудностей, однако в ряде случаев правильное составление всех уравнений химических реакций возможно только после анализа цифровых данных.

Обязательно проверьте, правильно ли проставлены коэффициенты в уравнениях химических реакций. Неправильное уравнивание химической реакции может привести не только к числовой, но и смысловой ошибке в решении задачи.

Если в задаче происходит несколько химических реакций, то полезно соответствующие уравнения пронумеровать.

**Пример 75.** К 200 мл раствора нитрата алюминия с молярной концентрацией нитрат-ионов 0,6 моль/л добавили 123,9 мл раствора гидроксида натрия с массовой долей щелочи 0,12 и плотностью 1,13 г/мл. Полученную смесь упарили и прокалили. Определите массовую долю кислорода как элемента в остатке после прокаливания.

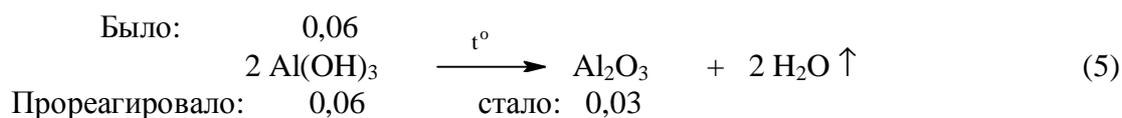
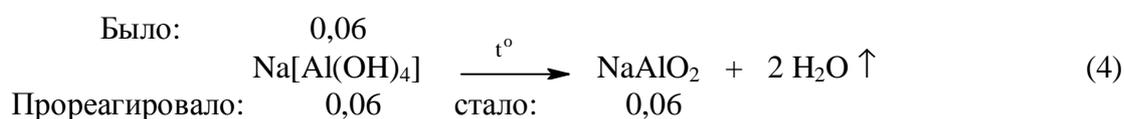
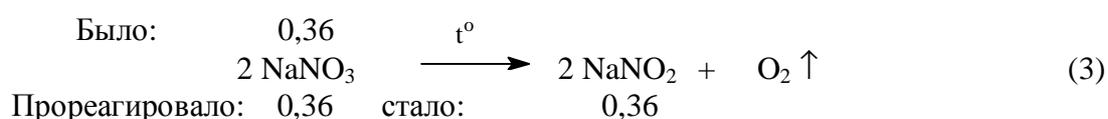
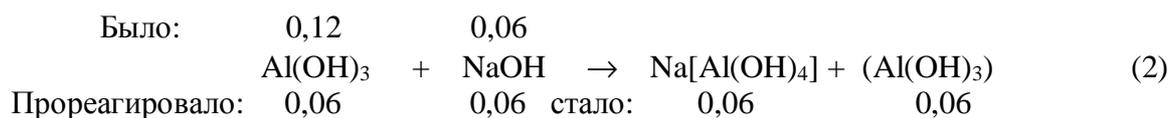
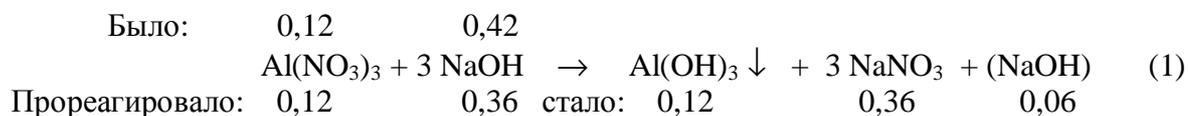
#### Решение:

Результат взаимодействия нитрата алюминия (принимая во внимание амфотерность гидроксида алюминия) со щелочью, а, следовательно, реакции, проходящие при прокаливании образовавшейся смеси веществ зависит от молярного соотношения первых двух веществ.

1) Определяем количества исходных веществ:

$$\nu[\text{Al}(\text{NO}_3)_3] = 0,2 \cdot 0,6 = 0,12 \text{ моль. } \nu(\text{NaOH}) = 123,9 \cdot 1,13 \cdot 0,12 / 40 = 0,42 \text{ моль.}$$

2) Записываем последовательность химических реакций, проставляя в них соответствующие количества веществ:



3) Определяем массовую долю кислорода как элемента в остатке после прокаливания:

$$m(\text{NaNO}_2) = 0,36 \cdot 69 = 24,84 \text{ г. } m(\text{NaAlO}_2) = 0,06 \cdot 82 = 4,92 \text{ г. } m(\text{Al}_2\text{O}_3) = 0,03 \cdot 102 = 3,06 \text{ г.}$$

$$m(\text{остатка после прокаливания}) = 24,84 + 4,92 + 3,06 = 32,82 \text{ г.}$$

$$\nu(\text{O в NaNO}_2) = 0,36 \cdot 2 = 0,72 \text{ моль.}$$

$$\nu(\text{O в NaAlO}_2) = 0,06 \cdot 2 = 0,12 \text{ моль.}$$

$$\nu(\text{O в Al}_2\text{O}_3) = 0,03 \cdot 3 = 0,09 \text{ моль.}$$

$$\nu(\text{O в остатке после прокаливания}) = 0,72 + 0,12 + 0,09 = 0,93 \text{ моль.}$$

$$\omega(\text{O}) = 0,93 \cdot 16 / 32,82 = 0,4534.$$

Ответ:  $\omega(\text{O в остатке после прокаливания}) = 45,34 \%$ .

### 2.1.3. Обработка цифровых данных.

При записи краткого условия задачи бывает полезно все проценты перевести в доли единицы, проверить размерности приведенных в задаче физических величин и, если это необходимо, выразить эти величины в одной размерности. Например, массы выразить в граммах, объемы для газов – в литрах и для растворов в миллилитрах, плотности для растворов в г/мл и для газов в г/л и т.д.

Если в задаче имеют место химические превращения, то все массы и объемы реагирующих веществ лучше сразу пересчитать на количества веществ (моль). Исключение составляют задачи с участием газов, когда все исходные данные приведены в

объемах и ответ требуется в объемах или объемных долях. В этих случаях все вычисление по уравнениям реакций можно производить в объемах (литрах или миллилитрах).

Желательно, чтобы при решении задачи вы достаточно подробно записывали ход решения, указывая расчетные формулы и обязательно конкретные цифры, которые вы в них подставляете, например:

$$v(\text{NaOH}) = \frac{V(\text{раствора NaOH}) \cdot \rho(\text{раствора}) \cdot \omega(\text{NaOH})}{M(\text{NaOH})} = \frac{120 \cdot 1,2 \cdot 0,2}{40} = 0,72 \text{ моль.}$$

Обязательно указывайте размерность получаемых величин. Такая запись позволяет вам легко проверить правильность решения и точность ваших вычислений.

Часто для получения конечного результата необходимо значение массы конечного раствора или конечной смеси. В большинстве случаев эту массу рекомендуется рассчитывать, суммируя массы смешиваемых растворов или веществ, и вычитая из полученной суммы массы веществ, вышедших из сферы реакции (обычно в виде осадка или газа).

#### 2.1.4. Проверка правильности решения

Закончив решать задачу, еще раз просмотрите ее условия и проверьте, все ли задания вы выполнили и все ли условия задачи вы использовали для ее решения. Обычно для правильного решения задачи требуется использование всех приведенных в ней данных, хотя бывают случаи, когда некоторые условия оказываются лишними. Тогда надо использовать эти данные для проверки правильности решения.

Еще раз посмотрите на ответ с точки зрения обычной логики, например, если в условии исходные массы даны в тоннах, а ответ у вас получился в граммах, в решении явно что-то не то. Или, например, в конечном растворе у вас одновременно присутствуют несовместимые вещества (NaOH и NaHCO<sub>3</sub> или H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> и K<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> и т.п.).

### 2.2. Избыток и недостаток

Если в условии задачи имеются числовые данные, относящиеся двум (или более) участникам одной и той же химической реакции, обязательно надо рассчитать их количества веществ и определить, какое из веществ находится в избытке и какое в недостатке (см. пример 14). Дальнейшие расчеты проводятся по тому веществу, которое находится в недостатке. Не забудьте проверить, не будет ли вещество, находящееся в избытке, реагировать с одним из продуктов реакции.

#### 2.2.1. Конечный результат и последовательность протекания химических реакций не зависят от порядка смешивания реагентов.

**Пример 76.** Определите состав раствора (в массовых долях), полученного при растворении в 57 мл 40 %-ного раствора гидроксида натрия с плотностью 1404 кг/м<sup>3</sup> всего кремния, образовавшегося в результате длительного нагревания 28,8 г магния с 24 г оксида кремния (IV).

Краткая запись условий:

Дано:  $V(\text{р-ра NaOH}) = 57 \text{ мл}$ .  $\omega(\text{NaOH}) = 0,4$ .  $\rho(\text{р-ра NaOH}) = 1,404 \text{ г/мл}$ .  $m(\text{Mg}) = 28,8 \text{ г}$ .  $m(\text{SiO}_2) = 24 \text{ г}$ .

Найти:  $\omega$ (в-в в конечном р-ре).

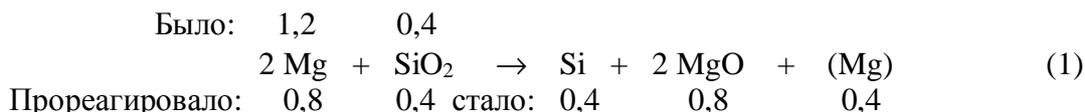
Решение:

1) Определяем количества веществ, принимающих участие в химических реакциях:

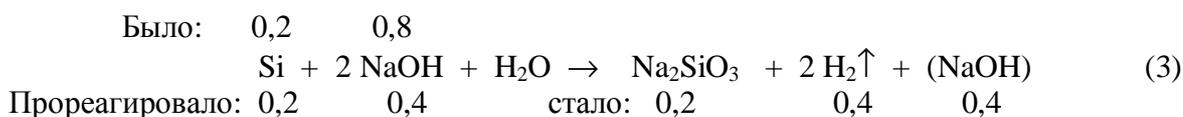
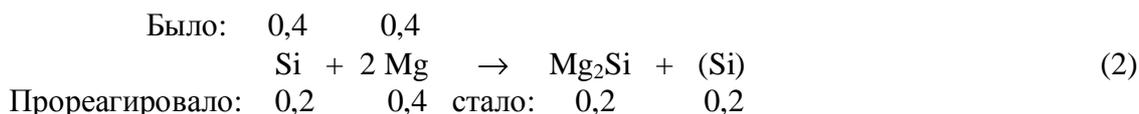
$$m(\text{р-ра NaOH}) = 57 \cdot 1,404 = 80 \text{ г. } \nu(\text{NaOH}) = 80 \cdot 0,4 / 40 = 0,8 \text{ моль.}$$

$$\nu(\text{Mg}) = 28,8 / 24 = 1,2 \text{ моль. } \nu(\text{SiO}_2) = 24 / 60 = 0,4 \text{ моль.}$$

2) Записываем уравнения химических реакций и проставляем количества реагирующих и образующихся веществ с учетом избытка и недостатка:



В этой реакции магний находится в избытке ( $1,2 / 2 > 0,4 / 1$ ), поэтому оксид кремния прореагировал полностью, а  $1,2 - 0,8 = 0,4$  моль магния осталось после этой реакции. При длительном нагревании оставшийся магний вступает во взаимодействие с кремнием, образуя силицид.



3) Рассчитываем массовые доли веществ в конечном растворе:

$$m(\text{конечного раствора}) = 80 + 0,2 \cdot 28 - 0,4 \cdot 2 = 84,8 \text{ г.}$$

$$\omega(\text{Na}_2\text{SiO}_3) = 0,2 \cdot 122 / 84,8 = 0,2877.$$

$$\omega(\text{NaOH}) = 0,4 \cdot 40 / 84,8 = 0,1887.$$

Ответ:  $\omega(\text{Na}_2\text{SiO}_3) = 28,77 \%$ ;  $\omega(\text{NaOH}) = 18,87 \%$ .

**Пример 77.** Смесь аммиака с кислородом, имеющую плотность по водороду 13, пропустили над платино-родиевым катализатором. Полученную смесь веществ при небольшом нагревании выдерживали в закрытом сосуде до прекращения всех химических реакций, затем охладили. Определите состав полученного раствора (в массовых долях), если известно, что при каталитическом окислении аммиака не происходит никаких побочных процессов и что выход в этой реакции в расчете на аммиак составляет 80%.

Решение:

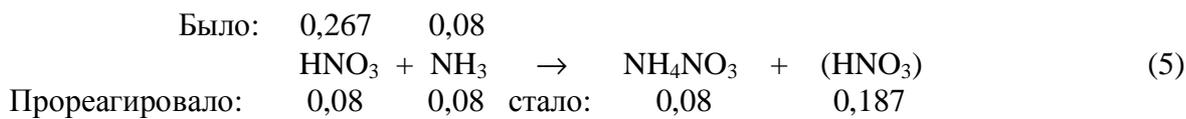
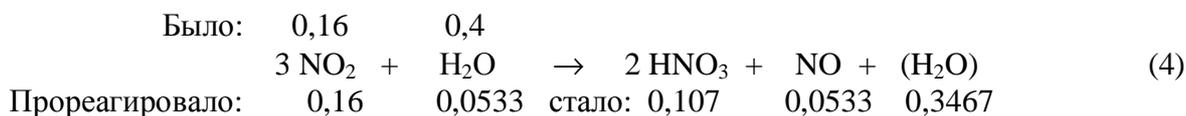
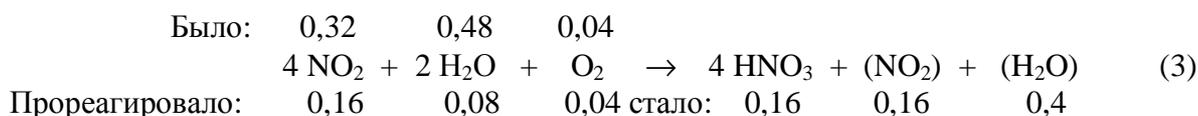
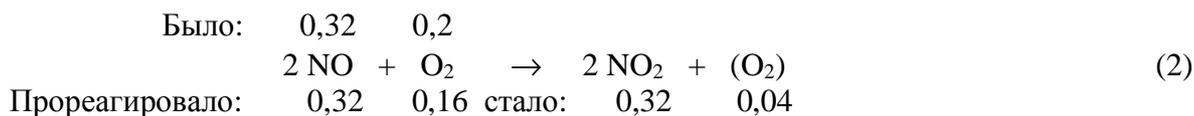
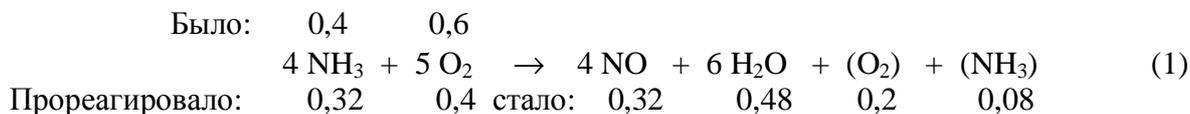
1) Допустим, что имелся 1 моль исходной газовой смеси, и рассчитаем ее состав:

$$\text{Пусть } \nu(\text{NH}_3) = x \text{ и } \nu(\text{O}_2) = y. \quad M_{\text{ср.}}(\text{газовой смеси}) = 13 \cdot 2 = 26 \text{ г/моль.}$$

$$\begin{array}{l} x + y = 1 \\ 17x + 32y = 26 \end{array} \cdot 32 \quad \left| \quad \begin{array}{l} 32x + 32y = 32 \\ 17x + 32y = 26 \end{array} \right| \quad \left| \quad \begin{array}{l} 15x = 6 \\ x = 6 / 15 = 0,4 \end{array} \right| \quad \left| \quad y = 0,6 \right.$$

- 2) Записываем уравнения химических реакций и проставляем количества реагирующих и образующихся веществ с учетом избытка и недостатка, не забывая, что в первую реакцию вступило только 80 % исходного аммиака:

$$v(\text{NH}_3 \text{ вступившего в реакцию каталитического окисления}) = 0,4 \cdot 0,8 = 0,32 \text{ моль.}$$



- 3) Определяем состав образовавшегося раствора:

$$m(\text{HNO}_3) = 0,187 \cdot 63 = 11,78 \text{ г.}$$

$$m(\text{NH}_4\text{NO}_3) = 0,08 \cdot 80 = 6,4 \text{ г.}$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 0,3467 \cdot 18 = 6,24 \text{ г.}$$

$$m(\text{конечного раствора}) = 11,78 + 6,4 + 6,24 = 24,42 \text{ г.}$$

$$\omega(\text{HNO}_3) = 11,78 / 24,42 = 0,4824.$$

$$\omega(\text{NH}_4\text{NO}_3) = 6,4 / 24,42 = 0,2621.$$

Ответ:  $\omega(\text{HNO}_3) = 48,24 \%$ ;  $\omega(\text{NH}_4\text{NO}_3) = 26,21 \%$ .

**Пример 78.** В толстостенный медный сосуд емкостью 2,8 л, заполненный при н.у. кислородом, поместили 226 мл азотной кислоты с массовой долей кислоты 0,2 и плотностью 1,115 г/мл и 10,7 г хлорида аммония. Сосуд закрыли и нагревали при высокой температуре, затем постепенно охладили. Определите массы веществ, образовавшихся в сосуде.

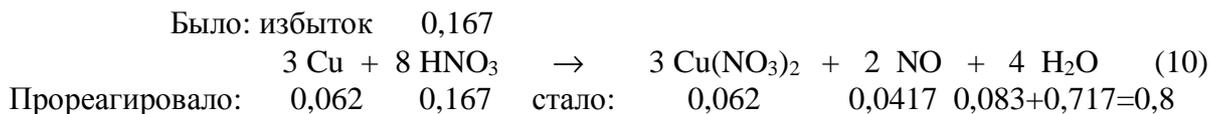
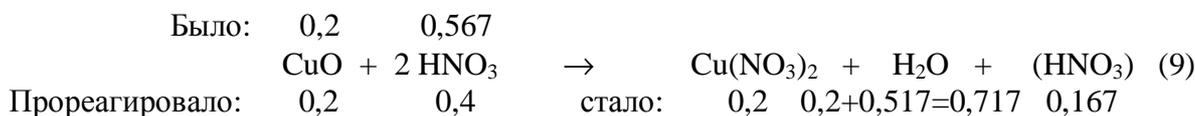
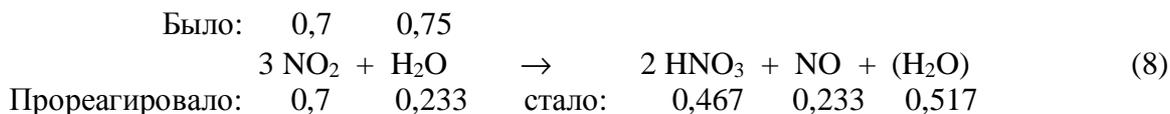
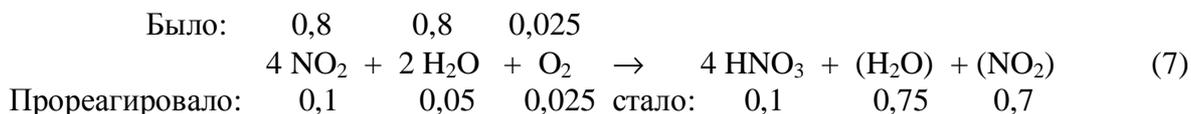
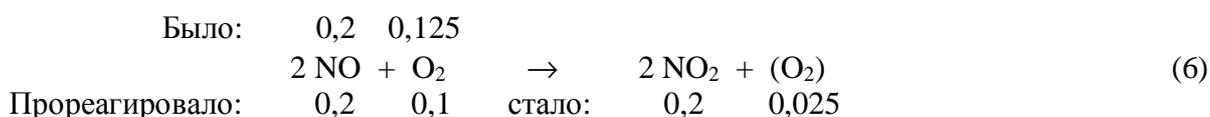
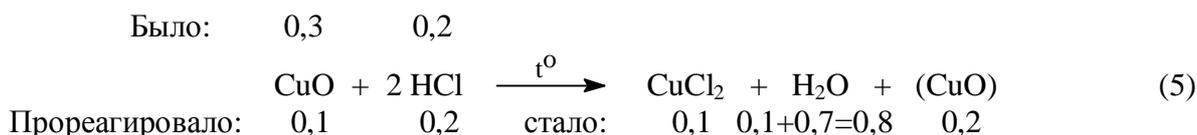
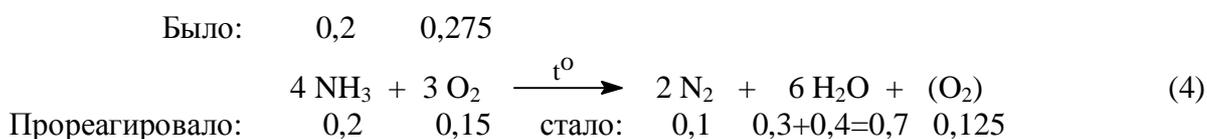
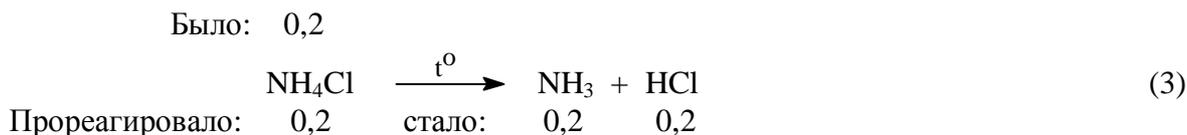
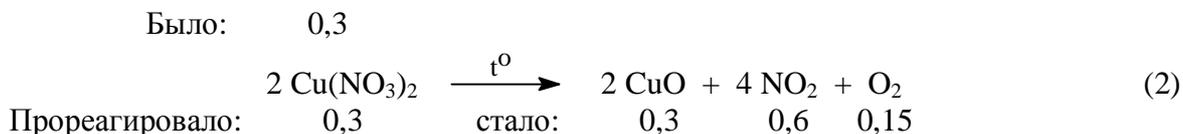
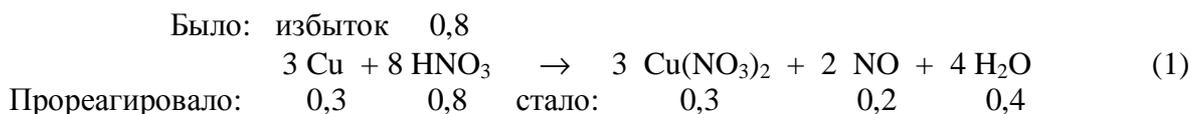
Решение:

- 1) Определяем количества исходных веществ:

$$v(\text{O}_2) = 2,8 / 22,4 = 0,125 \text{ моль. } v(\text{HNO}_3) = 226 \cdot 1,115 \cdot 0,2 / 63 = 0,8 \text{ моль.}$$

$$v(\text{NH}_4\text{Cl}) = 10,7 / 53,5 = 0,2 \text{ моль.}$$

4) Записываем уравнения химических реакций и проставляем количества реагирующих и образующихся веществ с учетом избытка и недостатка:



В результате в сосуде образовалось 0,8 моль воды, 0,275 моль NO, 0,2625 моль  $\text{Cu(NO}_3)_2$ , 0,1 моль  $\text{CuCl}_2$  и 0,1 моль  $\text{N}_2$ .

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 0,8 \cdot 18 = 14,4 \text{ г.}$$

$$m(\text{NO}) = 0,275 \cdot 30 = 8,25 \text{ г.}$$

$$m(\text{N}_2) = 0,1 \cdot 28 = 2,8 \text{ г.}$$

$$m[\text{Cu}(\text{NO}_3)_2] = 0,2625 \cdot 188 = 49,35 \text{ г.}$$

$$m(\text{CuCl}_2) = 0,1 \cdot 135 = 13,5 \text{ г.}$$

Ответ:  $m(\text{H}_2\text{O}) = 14,4 \text{ г.}$ ;  $m(\text{NO}) = 8,25 \text{ г.}$ ;  $m(\text{N}_2) = 2,8 \text{ г.}$ ;  $m[\text{Cu}(\text{NO}_3)_2] = 49,35 \text{ г.}$ ;  $m(\text{CuCl}_2) = 13,5 \text{ г.}$

**Пример 79.** 14,15 г смеси фосфата калия и оксида фосфора (V), в которой массовая доля фосфора как элемента составляет 21,91 %, растворили в 100 г воды. Определите массовые доли веществ в полученном растворе.

Решение:

1) Определяем состав исходной смеси веществ, обозначив количество вещества  $\text{P}_2\text{O}_5$  за  $x$  и количество вещества  $\text{K}_3\text{PO}_4$  за  $y$ :

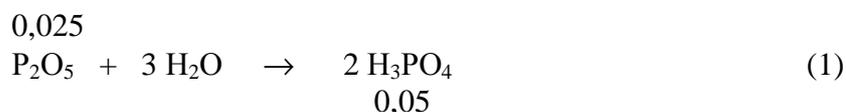
$$m(\text{P}) = 14,15 \cdot 0,2191 = 3,1 \text{ г. } \nu(\text{P}) = 3,1 / 31 = 0,1.$$

$$m(\text{смеси}) = m(\text{P}_2\text{O}_5) + m(\text{K}_3\text{PO}_4) = 142x + 212y = 14,5 \text{ г. } \nu(\text{P}) = 2x + y = 0,1 \text{ моль.}$$

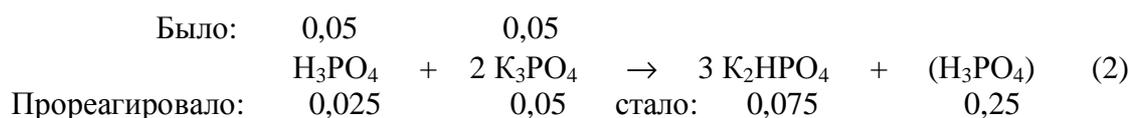
$$\begin{array}{l|l} 2x + y = 0,1 & \cdot 212 \quad 424x + 212y = 21,2 \\ 142x + 212y = 14,15 & \quad \quad \quad 142x + 212y = 14,15 \end{array} \quad \left| \begin{array}{l} 282x = 7,05 \\ x = 0,025 \end{array} \right| \quad y = 0,1 - 0,025 \cdot 2 = 0,05$$

2) Записываем уравнения химических реакций и проставляем количества реагирующих и образующихся веществ:

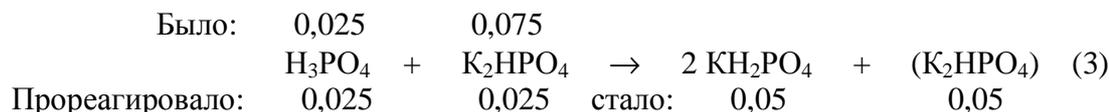
Сначала  $\text{P}_2\text{O}_5$  реагирует с водой:



Затем образующаяся фосфорная кислота взаимодействует с  $\text{K}_3\text{PO}_4$ , образуя гидрофосфат калия:



Оставшаяся фосфорная кислота взаимодействует с  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ , образуя дигидрофосфат калия:



3) Определяем массовые доли  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  и  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  в полученном растворе:

$$m(\text{конечного раствора}) = 14,15 + 100 = 114,15 \text{ г.}$$

$$\omega(\text{KH}_2\text{PO}_4) = 0,05 \cdot 136 / 114,15 = 0,05957.$$

$$\omega(\text{K}_2\text{HPO}_4) = 0,05 \cdot 174 / 114,15 = 0,07622.$$

Ответ:  $\omega(\text{K}_2\text{HPO}_4) = 5,96 \%$ ;  $\omega(\text{KH}_2\text{PO}_4) = 7,62 \%$ .

**Пример 80.** Оксид, полученный сжиганием 6,2 г фосфора в избытке кислорода, растворили в 91,59 мл раствора серной кислоты с массовой долей кислоты 0,1 и плотностью 1,07 г/мл. К полученному раствору добавили 447,3 г раствора силиката натрия с массовой долей соли 15 %. Определите массовые доли веществ, содержащихся в конечном растворе.

Решение:

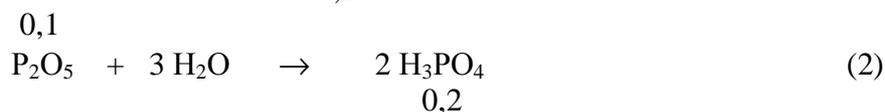
1) Рассчитываем количества исходных веществ:

$$v(\text{P}) = 6,2 / 31 = 0,2 \text{ моль. } m(\text{раствора } \text{H}_2\text{SO}_4) = 91,59 \cdot 1,07 = 98 \text{ г.}$$

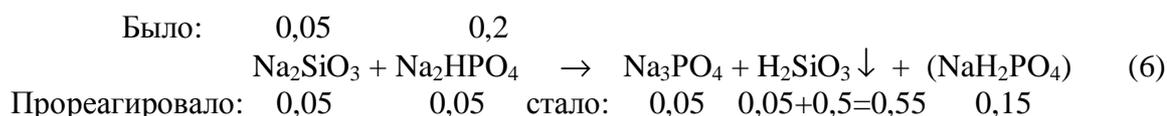
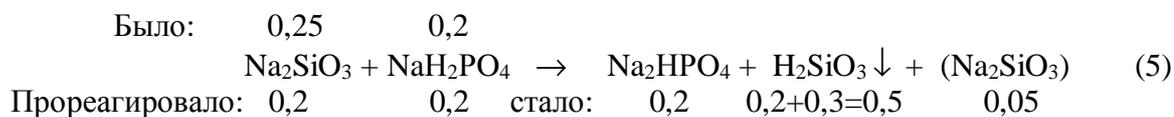
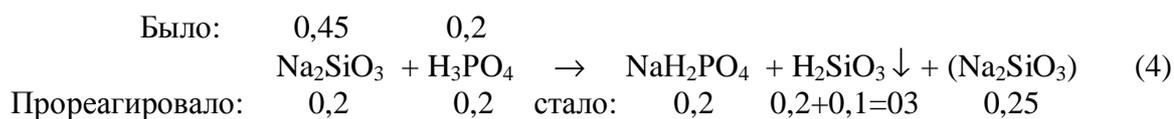
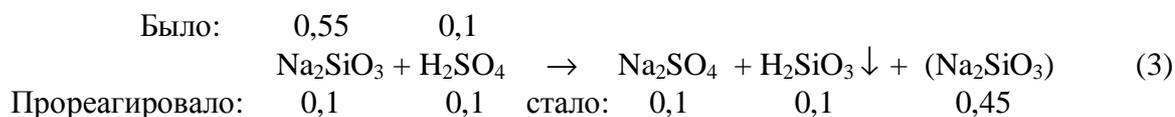
$$v(\text{H}_2\text{SO}_4) = 98 \cdot 0,1 / 98 = 0,1 \text{ моль.}$$

$$v(\text{Na}_2\text{SiO}_3) = 447,3 \cdot 0,15 / 122 = 0,55 \text{ моль.}$$

2) Записываем уравнения химических реакций и проставляем количества реагирующих и образующихся веществ:



В случае взаимодействия силиката натрия со смесью кислот сначала записываем реакцию с более сильной кислотой ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), а взаимодействие силиката натрия с фосфорной кислотой записываем через стадии образования кислых солей (сначала гидрофосфата, затем дигидрофосфата):



После всех реакций в растворе осталось 0,1 моль  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , 0,05 моль  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  и 0,15 моль  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ .

3) Рассчитываем массу конечного раствора и массовые доли содержащихся в нем веществ:

$$m(\text{конечного раствора}) = m(\text{P}_2\text{O}_5) + m(\text{раствора H}_2\text{SO}_4) + m(\text{раствора Na}_2\text{SiO}_3) - m(\text{H}_2\text{SiO}_3) = 0,1 \cdot 142 + 98 + 447,3 - 0,55 \cdot 78 = 516,6 \text{ г}$$

$$\omega(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 0,1 \cdot 142 / 516,6 = 0,0275.$$

$$\omega(\text{Na}_3\text{PO}_4) = 0,05 \cdot 164 / 516,6 = 0,0159.$$

$$\omega(\text{Na}_2\text{HPO}_4) = 0,15 \cdot 142 / 51,6 = 0,0412.$$

Ответ:  $\omega(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 2,75 \%$ ;  $\omega(\text{Na}_3\text{PO}_4) = 1,59 \%$ ;  $\omega(\text{Na}_2\text{HPO}_4) = 4,12 \%$ .

### **Задачи для самостоятельного решения**

131. 11,1 г смеси оксида фосфора (V) и оксида серы (VI), в которой массовая доля фосфора как элемента составляет 27,93 %, растворили в 58,33 мл раствора гидроксида натрия с массовой долей щелочи 20 % и плотностью 1,2 г/мл. Определите массовые доли веществ в образовавшемся растворе.
132. В 100 мл раствора уксусной кислоты в этаноле с массовой долей кислоты 11,25 % и плотностью 0,8 г/мл растворили 8,05 г натрия. Затем в раствор добавили 20 мл воды и полученную смесь упарили, а сухой остаток прокалили. Определите массовые доли веществ в остатке после прокаливания.
133. 43,68 л (н.у.) смеси аммиака с кислородом, в которой массовая доля аммиака составляет 27 %, пропустили над платиново-родиевым катализатором. Полученную смесь веществ при небольшом нагревании выдерживали в закрытом сосуде до прекращения всех химических реакций. Определите массу и состав (в массовых долях) полученного раствора, если известно при каталитическом окислении аммиака не происходит никаких побочных процессов и что выход в этой реакции в расчете на аммиак составляет 75 % от теоретического.
134. В сосуд емкостью 2,8 л, заполненный аргоном при н.у. поместили 59,2 г кристаллогидрата нитрата меди, в котором массовая доля кристаллизационной воды составляет 36,5 %, и 4,28 г хлорида аммония. Сосуд закрыли и нагрели до высокой температуры, затем медленно охладили. Определите состав газовой смеси (в % по объему) и раствора (в массовых долях), имеющих в сосуде после охлаждения.
135. 25,92 г кристаллогидрата нитрата железа (II), в котором массовая доля кристаллизационной воды равна 0,375, поместили в сосуд емкостью 5,6 л, который заполнили азотом при н.у., закрыли и нагревали до 600°C и затем медленно охладили. Определите массы веществ, находящихся в сосуде после охлаждения.
136. Смесь фосфата калия и оксида фосфора (V), в которой массовая доля кислорода как элемента составляет 45,16%, растворили в 160 мл раствора гидроксида калия с концентрацией 2,5 моль/л и плотностью 1,2 г/мл и получили раствор массой 241,6 г. Определите массовые доли веществ в конечном растворе.
137. Оксид фосфора (V), полученный при сжигании 4,65 г фосфора в избытке кислорода, растворили в 92,5 мл 10 %-ной (по массе) серной кислоты с плотностью 1060 кг/м<sup>3</sup>. К полученному раствору добавили 24 г гидроксида натрия. Определите массовые доли веществ в полученном растворе.

## 2.2.2. Взаимодействие газа с растворенным веществом.

Надо помнить, что когда газ пропускают в раствор, в начальный момент времени содержащееся в растворе вещество всегда находится в избытке. Это определяет последовательность протекающих в растворе процессов.

**Пример 81.** Рассчитайте состав (в массовых долях) раствора, образовавшегося в результате растворения 134,4 объема хлороводорода (н.у.) в одном объеме раствора карбоната калия с массовой долей соли 40 % и плотностью 1,38 г/мл. (Растворимость углекислого газа в воде пренебречь).

Решение:

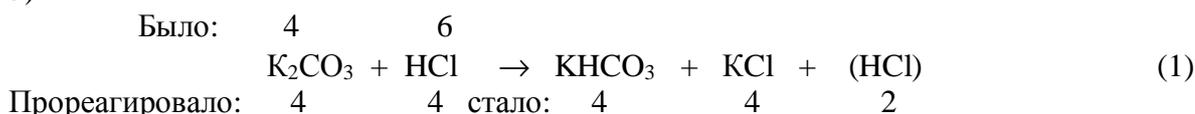
- 1) Примем объем раствора карбоната калия за 1 литр и рассчитаем количества исходных веществ:

$$v(\text{HCl}) = 134,4 / 22,4 = 6 \text{ моль.}$$

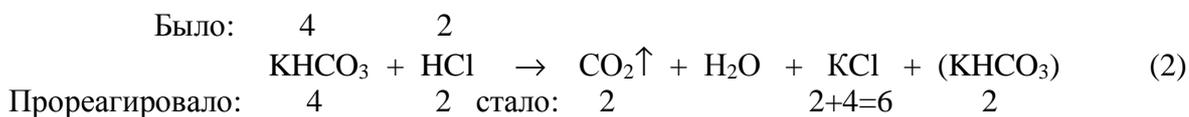
$$m(\text{исходного раствора}) = 1000 \cdot 1,38 = 1380 \text{ г. } v(\text{K}_2\text{CO}_3) = 1380 \cdot 0,4 / 138 = 4 \text{ моль.}$$

- 2) Записываем уравнения химических реакций и проставляем количества реагирующих и образующихся веществ, учитывая, что вначале карбонат калия был в избытке, и поэтому сначала образуется кислая соль:

3)



Затем оставшийся хлороводород реагирует с гидрокарбонатом, вытесняя из него  $\text{CO}_2$ :



- 4) Рассчитываем массовые доли веществ в конечном растворе:

$$m(\text{конечного раствора}) = m(\text{раствора K}_2\text{CO}_3) + m(\text{HCl}) - m(\text{CO}_2) = 1380 + 6 \cdot 36,5 - 2 \cdot 44 = 1511 \text{ г.}$$

$$\omega(\text{KCl}) = 6 \cdot 74,5 / 1511 = 0,2958.$$

$$\omega(\text{KHCO}_3) = 2 \cdot 100 / 1511 = 0,1324.$$

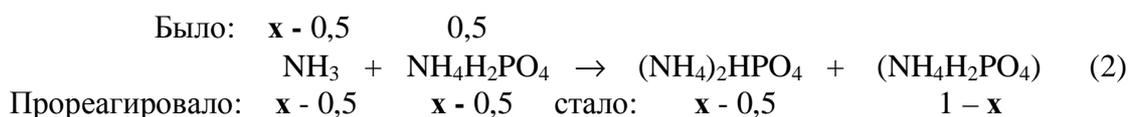
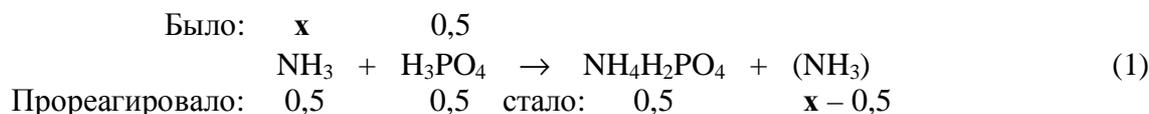
Ответ:  $\omega(\text{KCl}) = 29,58 \%$ ;  $\omega(\text{KHCO}_3) = 13,24 \%$ .

**Пример 82.** Сколько объемов аммиака (н.у.) надо растворить в 5 объемах раствора фосфорной кислоты с молярной концентрацией 0,1 моль/л, чтобы получить раствор, в котором массовые доли кислых солей равны между собой?

Решение:

- 1) Пусть объем раствора фосфорной кислоты равен 5 л, тогда  $v(\text{H}_3\text{PO}_4) = 5 \cdot 0,1 = 0,5$  моль. Общее количество аммиака обозначим через  $x$ .

- 2) Записываем последовательность химических реакций, учитывая, что фосфорная кислота сначала находится в избытке. Первым образуется дигидрофосфат аммония. После того, как вся фосфорная кислота перешла дигидрофосфат, аммиак продолжают пропускать, и следующей образуется вторая кислая соль — гидрофосфат аммония:



- 3) Если массовые доли двух веществ в одном и том же растворе равны между собой, то равны и их массы. Приравниваем массы двух солей и находим  $x$ :

$$(x - 0,5) \cdot 132 = (1 - x) \cdot 115; 132x - 66 = 115 - 115x; 247x = 181; x = 0,7328.$$

$$V(\text{NH}_3) = 0,7328 \cdot 22,4 = 16,41 \text{ л.}$$

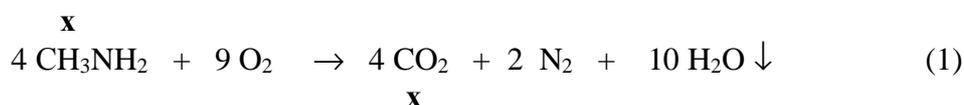
Ответ:  $V(\text{NH}_3) = 16,41 \text{ л.}$

**Пример 83.** Газы, образовавшиеся при сгорании некоторого количества метиламина, пропустили через 86,9 мл раствора гидроксида натрия с массовой долей щелочи 12 % и плотностью 1,151 г/мл. Определите объем сожженного метиламина (н.у.), если известно, что массовая доля гидрокарбоната натрия в конечном растворе составила 7,72 %.

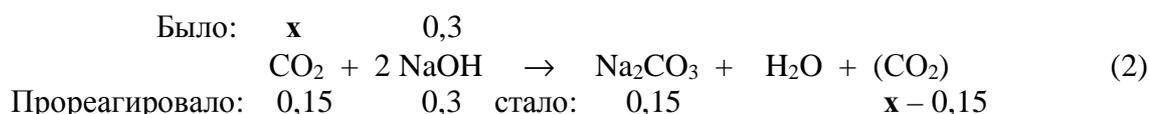
Решение:

- 1) Обозначим количество вещества метиламина через  $x$ . При сгорании метиламина образуются два газа — углекислый газ и азот. С гидроксидом натрия взаимодействует только углекислый газ, количество которого равно количеству исходного метиламина. Рассчитываем количество гидроксида натрия и записываем возможные уравнения химических реакций:

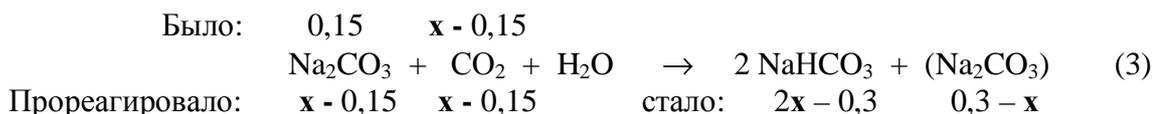
$$m(\text{раствора NaOH}) = 86,9 \cdot 1,151 = 100 \text{ г. } v(\text{NaOH}) = 100 \cdot 0,12 / 40 = 0,3 \text{ моль.}$$



Поскольку при взаимодействии  $\text{CO}_2$  со щелочью последняя сначала находится в избытке, первой образуется средняя соль:



После того, как весь гидроксид натрия перейдет в карбонат, углекислый газ начнет реагировать с карбонатом натрия, переводя его в кислую соль. После этого в растворе, возможно, еще останется некоторое количество средней соли:



- 2) Выражаем массу конечного раствора и массу  $\text{NaHCO}_3$  через  $x$  и находим объем исходного метиламина:

$$\begin{aligned}
 m(\text{конечного раствора}) &= m(\text{раствора NaOH}) + m(\text{CO}_2) = 100 + 44x. \\
 m(\text{NaHCO}_3) &= (2x - 0,3) \cdot 84 = 168x - 25,2. \\
 168x - 25,2 &= 0,0772 \cdot (100 + 44x); 164,6x = 32,92; x = 0,2.
 \end{aligned}$$

$$V(\text{CH}_3\text{NH}_2) = 0,2 \cdot 22,4 = 4,48 \text{ л.}$$

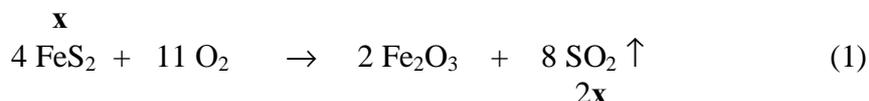
Ответ:  $V(\text{CH}_3\text{NH}_2) = 4,48 \text{ л.}$

**Пример 84.** Газ, полученный при обжиге 36 г пирита, содержащего неокисляющиеся примеси, растворили в 347,1 мл раствора гидроксида калия с массовой долей щелочи 11 % и плотностью 1,1 г/мл, в результате чего образовался раствор с равными молярными концентрациями кислой и средней соли. Определите массовую долю примесей в исходном пирите.

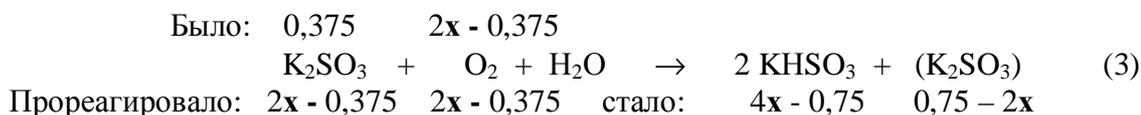
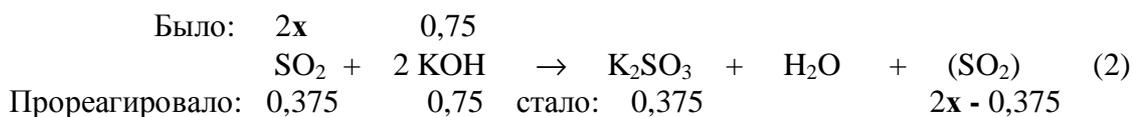
Решение:

- 1) Обозначим количество вещества  $\text{FeS}_2$  в пирите через  $x$ , рассчитаем количество вещества гидроксида калия, и составим уравнения химических реакций:

$$v(\text{KOH}) = 347,1 \cdot 1,1 \cdot 0,11 / 56 = 0,75 \text{ моль.}$$



Как и в предыдущем примере, сначала щелочь находится в избытке и первой образуется средняя соль, и только после того, как прореагирует весь  $\text{KOH}$ , начинает образовываться кислая соль.



- 2) Если в одном и том же растворе молярные концентрации двух веществ равны между собой, это означает, что равны и их количества веществ. Приравниваем количества веществ двух солей в растворе и находим  $x$ :

$$4x - 0,75 = 0,75 - 2x; 6x = 1,5; x = 0,25.$$

- 3) Находим массовую долю примесей в исходном пирите:

$$m(\text{FeS}_2) = 0,25 \cdot 120 = 30 \text{ г. } m(\text{примесей}) = 36 - 30 = 6 \text{ г.}$$

$$\omega(\text{примесей}) = 6 / 36 = 0,167.$$

Ответ:  $\omega(\text{примесей в пирите}) = 16,7 \%$ .

**Пример 85.** 11,2 л смеси оксида серы (IV) и хлороводорода (н.у.) с плотностью по воздуху 1,8276 пропустили через 76,8 мл раствора гидроксида натрия с массовой долей щелочи 25% и плотностью 1,25 г/мл. Определите массовые доли веществ в полученном растворе.

Решение:

1) Рассчитываем количества исходных веществ:

$$v(\text{газов}) = 11,2 / 22,4 = 0,5 \text{ моль. } M_{\text{ср.}}(\text{газов}) = 1,8276 \cdot 29 = 53 \text{ г/моль.}$$

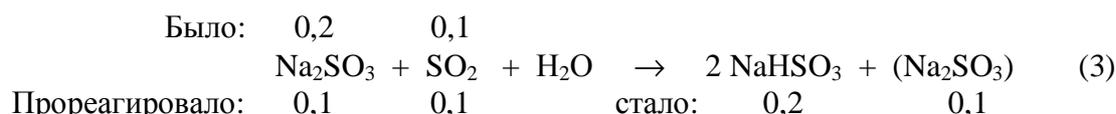
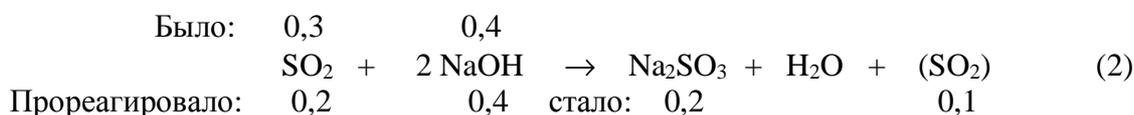
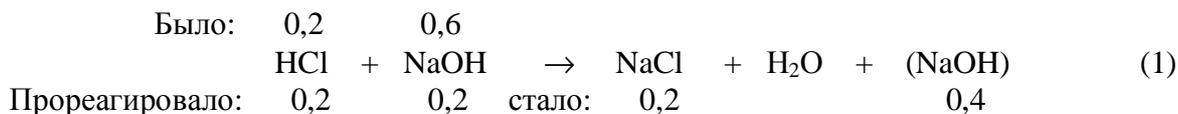
Пусть  $v(\text{SO}_2) = x$  и  $v(\text{HCl}) = y$ .

$$\begin{array}{l|l|l} x + y = 0,5 & \cdot 64 & 64x + 64y = 32 \\ 64x + 36,5y = 53 \cdot 0,5 & & 64x + 36,5y = 26,5 \end{array} \quad \left| \begin{array}{l} 27,5y = 5,5 \\ y = 0,2 \end{array} \right| \quad x = 0,3$$

$$m(\text{раствора NaOH}) = 76,8 \cdot 1,25 = 96 \text{ г.}$$

$$v(\text{NaOH}) = 96 \cdot 0,25 / 40 = 0,6 \text{ моль.}$$

2) Записываем уравнения химических реакций, учитывая, что соляная кислота сильнее сернистой. Поэтому первой записываем реакцию с хлороводородом:



3) Рассчитываем массу конечного раствора и массовые доли содержащихся в нем веществ:

$$m(\text{конечного раствора}) = m(\text{SO}_2) + m(\text{HCl}) + m(\text{раствора NaOH}) = 0,3 \cdot 64 + 0,2 \cdot 36,5 + 96 = 122,5 \text{ г.}$$

$$\omega(\text{NaCl}) = 0,2 \cdot 58,5 / 122,5 = 0,0955.$$

$$\omega(\text{NaHSO}_3) = 0,2 \cdot 104 / 122,5 = 0,1698.$$

$$\omega(\text{Na}_2\text{SO}_3) = 0,1 \cdot 126 / 122,5 = 0,1029.$$

Ответ:  $\omega(\text{NaCl}) = 9,55\%$ ;  $\omega(\text{NaHSO}_3) = 16,98 \%$ ;  $\omega(\text{Na}_2\text{SO}_3) = 10,29\%$ .

**Задачи для самостоятельного решения**

138. 67,2 объема бромоводорода растворили в трех объемах раствора карбоната натрия с массовой долей соли 6,145 % и плотностью 1,15 г/мл. Определите массовые доли веществ в полученном растворе. Растворимостью оксида углерода (IV) в воде пренебречь.
139. Сколько объемов хлороводорода надо растворить в одном объеме раствора фосфата натрия с молярной концентрацией соли 0,1 моль/л, чтобы получить раствор, в котором массовые доли кислых солей равны между собой.
140. Азото-водородную смесь пропустили над железным катализатором, при этом ее плотность увеличилась на 44,8 %. Определите массовые доли веществ в растворе, полученном при пропускании 10 л конечной газовой смеси через 87,5 мл раствора фосфорной кислоты с массовой долей кислоты 8 % и плотностью 1,05 г/мл.
141. В 100 мл раствора фосфорной кислоты с концентрацией 2 моль/л и плотностью 1,1 г/мл растворили некоторое количество оксида фосфора (V), в результате чего массовая доля кислоты в растворе удвоилась. В полученный раствор пропустили 13,44 л метиламина (н.у.). Определите массовые доли веществ в конечном растворе.
142. 30 г технического сульфида железа (II) обработали избытком соляной кислоты. Выделившийся газ растворили в 126,6 мл раствора гидроксида калия с массовой долей щелочи 15% и плотностью 1,18 г/мл. Массовая доля кислой соли в конечном растворе составила 9%. Определите массу примесей в исходном образце сульфида железа.
143. Некоторое количество диметиламина сожгли в избытке кислорода, а продукты сгорания пропустили в 106,2 мл раствора гидроксида калия с массовой долей щелочи 14 % и плотностью 1,13 г/мл. Определите объем сожженного диметиламина, если известно, что массовая доля гидрокарбоната калия в получившемся растворе составила 7,4 %.
144. 8,96 л смеси оксида углерода (IV) и бромоводорода с плотностью по водороду 26,625 (н.у.) пропустили через 82,64 мл раствора гидроксида натрия с массовой долей щелочи 20 % и плотностью 1,21 г/мл. Определите массовые доли веществ в полученном растворе.
145. 7,84 л смеси сероводорода и бромоводорода с плотностью по воздуху 1,635 пропустили через 113,2 мл раствора с плотностью 1,06 г/мл, содержащего гидроксид натрия (массовая доля 10%) и сульфид натрия (массовая доля 6,5%). Определите массовые доли веществ в полученном растворе.

### 2.2.3. Конечный результат и последовательность протекания химических реакций зависят от порядка смешивания реагентов.

В тех случаях, когда в растворах происходят взаимодействия между веществами, среди которых имеются соли многоосновных кислот (кроме серной), результат часто зависит не только от молярного соотношения реагентов, но от порядка их смешивания.

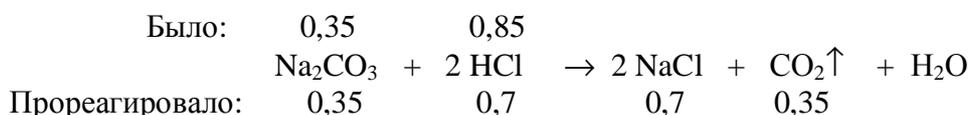
**Пример 86.** В 156 мл соляной кислоты с массовой долей хлороводорода 18,25 % и плотностью 1,09 г/мл постепенно растворили некоторое количество кристаллической соды. Определите массовые доли веществ в полученном растворе, если известно, что при растворении выделилось 7,84 л газа (н.у.).

Решение:

- 1) Определяем количества веществ хлороводорода в исходном растворе и газа, выделившегося в результате реакции:

$$m(\text{исходного раствора}) = 156 \cdot 1,09 = 170 \text{ г. } \nu(\text{HCl}) = 170 \cdot 0,1825 / 36,5 = 0,85 \text{ моль.}$$
$$\nu(\text{газа}) = 7,84 / 22,4 = 0,35 \text{ моль.}$$

- 2) При добавлении кристаллической соды ( $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ ) к соляной кислоте сначала кислота находится в избытке, поэтому сразу происходит выделение углекислого газа. Если бы вся кислота прореагировала, то выделилось бы  $0,85 / 2 = 0,425$  моль газа. Таким образом, ясно, что кислота была в избытке, и ее прореагировало только  $0,35 \cdot 2 = 0,7$  моль, а  $0,8 - 0,7 = 0,1$  моль HCl осталось в растворе. В реакцию вступило 0,35 моль  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  и образовалось 0,7 моль NaCl. Записываем уравнение реакции и определяем количества веществ кристаллической соды и солей в образовавшемся растворе:



- 3) Рассчитываем массовые доли веществ в конечном растворе:

$$m(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}) = 0,35 \cdot 286 = 100,1 \text{ г.}$$
$$m(\text{конечного раствора}) = m(\text{исходного раствора}) + m(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}) - m(\text{CO}_2) =$$
$$170 + 100,1 - 0,35 \cdot 44 = 254,7 \text{ г.}$$

$$\omega(\text{NaCl}) = 0,7 \cdot 58,5 / 254,7 = 0,1608.$$

$$\omega(\text{HCl}) = 0,1 \cdot 36,5 / 254,7 = 0,0143$$

Ответ:  $\omega(\text{NaCl}) = 16,08 \%$ ;  $\omega(\text{HCl}) = 1,43 \%$ .

**Пример 87.** 71,5 г кристаллической соды растворили в 80 мл воды и полученный раствор медленно обработали раствором соляной кислоты с массовой долей хлороводорода 36,5 %. Определите массовые доли веществ в полученном растворе, если известно, что в результате выделилось 3,36 л газа.

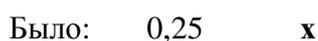
Решение:

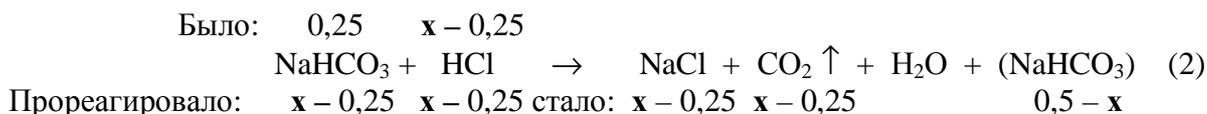
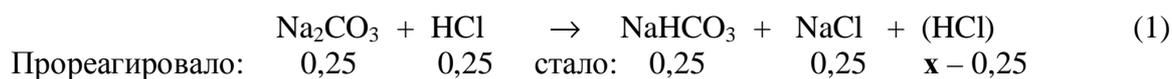
- 1) Рассчитываем количество вещества карбоната натрия и количество вещества выделившегося углекислого газа:

$$\nu(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}) = 71,5 / 286 = 0,25 \text{ моль.}$$

$$\nu(\text{CO}_2) = 3,36 / 22,4 = 0,15 \text{ моль.}$$

- 2) Поскольку количество выделившегося углекислого газа меньше количества вещества карбоната натрия, можно сделать вывод, что соляная кислота в конечном итоге оказалась в недостатке. Обозначим количество вещества хлороводорода за  $x$ . Записываем уравнения химических реакций, учитывая, что сначала в избытке находится карбонат, и процесс проходит через образование кислой соли:





$$x - 0,25 = 0,15. \quad x = 0,4 \text{ моль.}$$

3) Определяем массовые доли веществ в конечном растворе:

$$m(\text{раствора HCl}) = 0,4 \cdot 36,5 / 0,365 = 40 \text{ г.}$$

$$m(\text{конечного раствора}) = 71,5 + 80 + 40 - 0,15 \cdot 44 = 184,9 \text{ г}$$

$$v(\text{NaCl}) = 0,25 + x - 0,25 = x = 0,4 \text{ моль.} \quad \omega(\text{NaCl}) = 0,4 \cdot 58,5 / 184,9 = 0,1266.$$

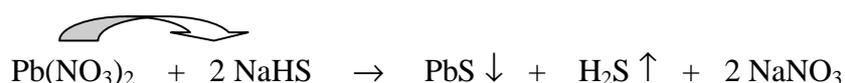
$$v(\text{NaHCO}_3) = 0,5 - 0,4 = 0,1 \text{ моль.} \quad \omega(\text{NaHCO}_3) = 0,1 \cdot 84 / 184,9 = 0,0454.$$

Ответ:  $\omega(\text{NaCl}) = 12,66 \%$ ;  $\omega(\text{NaHCO}_3) = 4,54 \%$ .

**Пример 88.** К 766,2 мл раствора нитрата свинца с массовой долей соли 18% и плотностью 1,2 г/мл постепенно при нагревании добавили некоторое количество гидросульфида натрия, при этом выделилось 8,96 л (н.у.) газа. Определите массовые доли веществ в образовавшемся растворе.

Решение:

1) Движущей силой этой реакции является образование осадка — нерастворимого даже в разбавленных кислотах сульфида свинца. Результат этой реакции зависит от порядка смешивания исходных растворов. Если к раствору гидросульфида добавлять раствор соли свинца, то гидросульфид сначала оказывается в избытке, и высвобождающиеся в результате реакции ионы водорода связываются с избытком гидросульфид ионов с образованием сероводорода:



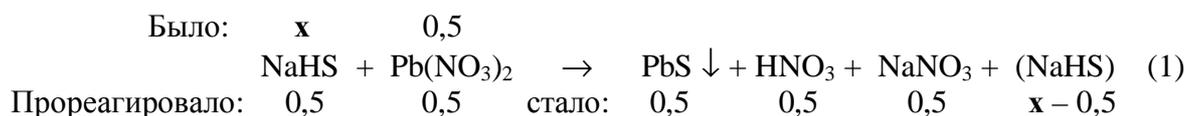
Если же, как в условии данной задачи, к раствору нитрата свинца постепенно добавлять гидросульфид, то сначала в избытке оказываются ионы свинца и вся сера уходит в осадок, а высвобождающиеся ионы водорода остаются в растворе:



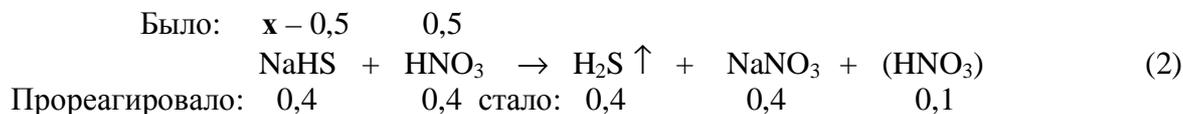
2) Рассчитываем количества вещества нитрата свинца и выделившегося сероводорода, и записываем уравнения химических реакций, проставляя количества реагирующих образующихся веществ, причем количество вещества гидросульфида натрия в исходном растворе обозначим за  $x$ :

$$m[\text{раствора Pb(NO}_3)_2] = 766,2 \cdot 1,2 = 919,4 \text{ г.} \quad v[\text{Pb(NO}_3)_2] = 919,4 \cdot 0,18 / 331 = 0,5 \text{ моль.}$$

$$v(\text{H}_2\text{S}) = 8,96 / 22,4 = 0,4 \text{ моль.}$$



После того, как весь нитрат свинца прореагировал, добавляемый NaHS начинает взаимодействовать с азотной кислотой, образовавшейся в результате первой реакции:



Так как во второй реакции сероводорода выделилось меньше, чем было азотной кислоты, NaHS во второй реакции прореагировал полностью, т.е.  $x - 0,5 = 0,4$ ;  $x = 0,9$  моль.

3) Рассчитываем массу конечного раствора и массовые доли содержащихся в нем веществ:

$$m(\text{конечного раствора}) = m[\text{раствора } \text{Pb}(\text{NO}_3)_2] + m(\text{NaHS}) - m(\text{PbS}) - m(\text{H}_2\text{S}) = 919,4 + 0,9 \cdot 56 - 0,5 \cdot 239 - 0,4 \cdot 34 = 836,7 \text{ г.}$$

$$\omega(\text{NaNO}_3) = (0,5 + 0,4) \cdot 85 / 836,7 = 0,0914.$$

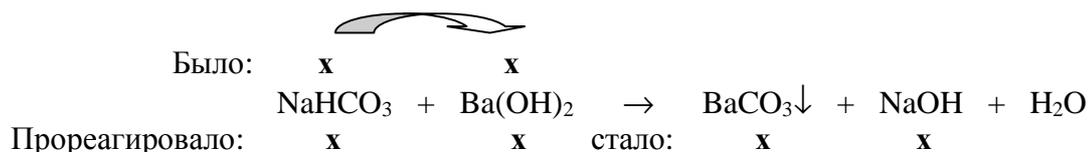
$$\omega(\text{HNO}_3) = 0,1 \cdot 63 / 836,7 = 0,00753.$$

Ответ:  $\omega(\text{NaNO}_3) = 9,14 \%$ ;  $\omega(\text{HNO}_3) = 0,753 \%$ .

**Пример 89.** К 500 мл раствора гидроксида бария с плотностью 1,02 г/мл постепенно при перемешивании добавляли раствор гидрокарбоната натрия с массовой долей соли 5%. К тому моменту, когда молярные концентрации ионов натрия и гидроксид-ионов в растворе сравнялись, его масса стала равной 658,3 г. Определите массовые доли и молярные концентрации веществ в растворе, который получится при медленном добавлении 100 мл такого же раствора гидроксида бария к раствору гидрокарбоната натрия, масса которого в два раза меньше, а концентрация соли, в котором такая же, как в первом эксперименте. Плотность конечного раствора равна 1,05 г/мл.

Решение:

1) При постепенном добавлении гидрокарбоната натрия к гидроксиду бария последний находится в избытке и в растворе образуется гидроксид натрия. Молярные концентрации ионов натрия и гидроксид-ионов становятся равными в тот момент, когда количество добавленного гидрокарбоната сравняется с количеством гидроксида бария в исходном растворе.



$$m\{\text{раствора } \text{Ba}(\text{OH})_2\} = 500 \cdot 1,02 = 510 \text{ г.}$$

$$m(\text{раствора } \text{NaHCO}_3) = 84 \cdot 0,05 = 1680x.$$

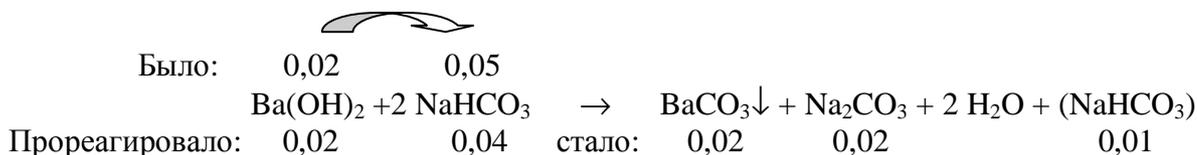
$$m(\text{BaCO}_3) = 197x.$$

$$m(\text{конечного раствора}) = 510 + 1680x - 197x = 658,3; 1483x = 148,3; x = 0,1.$$

$$C[\text{Ba}(\text{OH})_2] = 0,1 / 0,5 = 0,2 \text{ моль/л.}$$

- 2) При добавлении гидроксида бария к раствору гидрокарбоната натрия гидрокарбонат находится в избытке, гидроксид-ионы полностью реагируют с гидрокарбонат-ионами и образуется карбонат натрия.

$$v[\text{Ba}(\text{OH})_2] = 0,2 \cdot 0,1 = 0,02 \text{ моль. } v(\text{NaHCO}_3) = 0,1 / 2 = 0,05 \text{ моль.}$$



- 4) Рассчитываем массу конечного раствора и массовые доли содержащихся в нем веществ:

$$m(\text{конечного раствора}) = m[\text{раствора Ba}(\text{OH})_2] + m(\text{раствора NaHCO}_3) - m(\text{BaCO}_3) = 100 \cdot 1,02 + 84 \cdot 0,05 / 0,05 - 0,02 \cdot 197 = 182,1 \text{ г.}$$

$$V(\text{конечного раствора}) = 182,1 / 1,05 = 173,4 \text{ мл} = 0,1734 \text{ л.}$$

$$\omega(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0,02 \cdot 106 / 182,1 = 0,0116.$$

$$\omega(\text{NaHCO}_3) = 0,01 \cdot 84 / 182,1 = 0,00461.$$

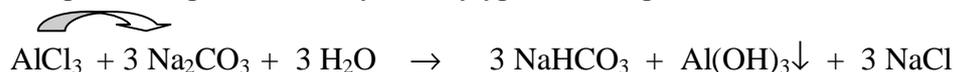
$$C(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0,02 / 0,1734 = 0,115 \text{ моль/л. } C(\text{NaHCO}_3) = 0,01 / 0,1734 = 0,0577 \text{ моль/л.}$$

Ответ:  $\omega(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 1,16 \%$ ;  $\omega(\text{NaHCO}_3) = 0,461 \%$ .  $C(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0,115 \text{ моль/л}$ ;  
 $C(\text{NaHCO}_3) = 0,0577 \text{ моль/л}$ .

**Пример 90.** К 380 мл раствора карбоната натрия с массовой долей соли 10% и плотностью 1,046 г/мл постепенно при перемешивании добавляли раствор хлорида алюминия с молярной концентрацией соли 2,5 моль/л и плотностью 1,06 г/мл до того момента, когда началось выделение газа. Рассчитайте массовые доли веществ в растворе, который получится при постепенном добавлении того же объема такого же раствора карбоната натрия к раствору хлорида алюминия той же концентрации и того же объема, который был затрачен в первом опыте.

Решение:

- 1) В первом случае вначале в избытке был карбонат натрия, поэтому выделение газа началось только тогда, когда весь карбонат перешел в гидрокарбонат, поэтому здесь реакция прошла строго по следующему уравнению реакции:



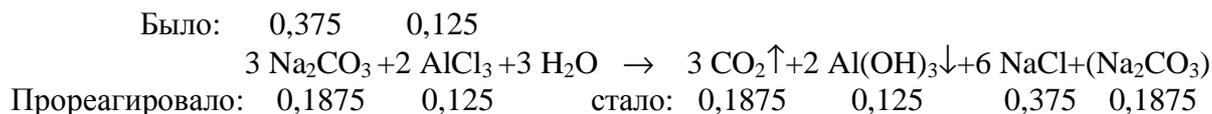
$$m(\text{раствора Na}_2\text{CO}_3) = 380 \cdot 1,046 = 397,5 \text{ г;}$$

$$v(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 397,5 \cdot 0,1 / 106 = 0,375 \text{ моль;}$$

$$v(\text{AlCl}_3) = 0,375 / 3 = 0,125 \text{ моль.}$$

$$m(\text{раствора AlCl}_3) = (0,125 / 2,5) \cdot 1000 \cdot 1,06 = 53 \text{ г.}$$

- 2) При обратном порядке смешивания растворов вначале в избытке хлорид алюминия, т.е. сильно кислая среда за счет гидролиза, поэтому сразу начинается выделение углекислого газа:



3) Определяем массовые доли веществ в конечном растворе:

$$m(\text{конечного раствора}) = m(\text{раствора Na}_2\text{CO}_3) + m(\text{раствора AlCl}_3) - m(\text{CO}_2) - m(\text{Al}(\text{OH})_3) = 397,5 + 53 - 0,1875 \cdot 44 - 0,125 \cdot 78 = 432,5 \text{ г.}$$

$$\omega(\text{NaCl}) = 0,375 \cdot 58,5 / 432,5 = 0,0507;$$

$$\omega(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0,1875 \cdot 106 / 432,5 = 0,046.$$

Ответ:  $\omega(\text{NaCl}) = 5,07 \%$ ;  $\omega(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 4,6 \%$ .

### **Задачи для самостоятельного решения**

146. Некоторое количество кристаллической соды растворили в 50 мл воды и затем при перемешивании обработали 42,7 мл соляной кислоты с массовой долей хлороводорода 36,5 % и плотностью 1,17 г/мл. При этом выделилось 4,48 л газа. Определите массу взятой кристаллической соды и массовые доли каждой из двух солей, образовавшихся в растворе.
147. 85,7 г кристаллической соды (десятиводного кристаллогидрата) растворили в 100 мл воды и к раствору осторожно добавили некоторое количество раствора серной кислоты с концентрацией 1,25 моль/л и плотностью 1,06 г/мл. Определите массовые доли веществ в полученном растворе, если известно, что из раствора выделилось 2,24 л газа.
148. К 87 мл раствора карбоната калия с плотностью 1,19 г/мл постепенно при перемешивании добавили 60 мл раствора соляной кислоты с плотностью 1,05 г/мл, в результате чего выделилось 0,672 л газа (н.у.) и образовался раствор, содержащий две соли, с массовой долей соли с наибольшей молярной массой 7,26 %. Определите молярные концентрации веществ в исходных растворах и массовые доли веществ в растворе, полученном при постепенном прибавлении 116 мл первого раствора к 50 мл второго.
149. Некоторое количество раствора сульфида калия с массовой долей соли 20% постепенно при перемешивании и при нагревании добавляли к 37,04 мл раствора соляной кислоты с плотностью 1,08 г/мл, в результате чего получили 180 мл раствора с плотностью 1,12 г/мл и с равными молярными концентрациями двух анионов. Рассчитайте массовые доли веществ в растворе, который получится при обратном порядке смешивания таких же количеств исходных растворов.
150. 107,25 г кристаллической соды растворили в 100 мл воды и постепенно при перемешивании добавляли раствор хлорида алюминия с молярной концентрацией соли 2 моль/л и плотностью 1,15 г/мл до того момента, когда началось выделение газа. Рассчитайте массовые доли веществ в растворе, который получится при постепенном добавлении такого же количества раствора кристаллической соды в воде к раствору хлорида алюминия той же концентрации и того же объема, который был затрачен в первом опыте.
151. К раствору формиата свинца с молярной концентрацией соли 1,6 моль/л и плотностью 1,1 г/мл медленно при перемешивании и нагревании добавили раствор гид-

росульфида натрия с массовой долей соли 0,2. В результате этого был получен раствор, в котором суммарная массовая доля катионов на 22,7 % превышает массовую долю анионов (диссоциацией муравьиной кислоты пренебречь). Определите массовые доли веществ в растворе, который получится при обратном порядке смешивания таких же количеств исходных растворов в тех же условиях.

### 2.3. Определение состава смеси методом исключения

Когда в задаче имеется смесь веществ, подвергающаяся какой-либо химической обработке, и в условии можно выделить численные данные, относящиеся к превращению одного из компонентов этой смеси, нужно сначала произвести расчеты, касающиеся этого компонента, а затем посмотреть, нельзя ли определить количества других компонентов этой смеси по разности.

**Пример 91.** При нагревании смеси нитратов натрия и свинца (II) образовалось 22,3 г оксида свинца (II) и выделилось 6,72 л газов (н.у.). Рассчитайте массу исходной смеси веществ.

Решение:

1) Запишем уравнения химических реакций:



2) Определяем количества веществ, участвующих во второй реакции:

$$v(\text{PbO}) = 22,3 / 223 = 0,1 \text{ моль. } v[\text{Pb}(\text{NO}_3)_2] = 0,1 \text{ моль.}$$

$$v(\text{NO}_2) = 0,1 \cdot 2 = 0,2 \text{ моль. } v(\text{O}_2) = 0,1 / 2 = 0,05 \text{ моль.}$$

3) Определяем количество вещества нитрата натрия:

$v(\text{газов}) = 6,72 / 22,4 = 0,3$  моль. Из них 0,2 моль — это  $\text{NO}_2$  из реакции (2) и 0,05 моль — это  $\text{O}_2$  из реакции (2). Следовательно, в реакции (1) выделилось  $0,3 - 0,2 - 0,05 = 0,05$  моль  $\text{O}_2$ .

$$v(\text{NaNO}_3) = 0,05 \cdot 2 = 0,1 \text{ моль.}$$

4) Определяем массы исходных веществ и массу смеси:

$$m(\text{NaNO}_3) = 0,1 \cdot 85 = 8,5 \text{ г. } m[\text{Pb}(\text{NO}_3)_2] = 0,1 \cdot 331 = 33,1 \text{ г.}$$

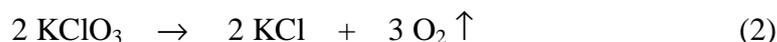
$$m(\text{смеси}) = 8,5 + 33,1 = 41,6 \text{ г.}$$

Ответ:  $m(\text{смеси}) = 41,6 \text{ г.}$

**Пример 92.** Имеется смесь хлорида калия, нитрата калия и бертолетовой соли ( $\text{KClO}_3$ ). Определите массовые доли веществ в этой смеси, если известно, что при нагревании 16,98 г этой смеси в присутствии оксида марганца (IV) выделяется 2,24 л газов (н.у.), а при действии на то же количество исходной смеси избытка соляной кислоты выделяется 2,688 л хлора (н.у.).

Решение:

1) Записываем уравнения химических реакций:



2) По объему выделившегося в реакции (3) хлора определяем количество и массу бертолетовой соли:

$$\begin{aligned} \nu(\text{Cl}_2) &= 2,688 / 22,4 = 0,12 \text{ моль. } \nu(\text{KClO}_3) = 0,12 / 3 = 0,04 \text{ моль.} \\ m(\text{KClO}_3) &= 0,04 \cdot 122,5 = 4,9 \text{ г.} \end{aligned}$$

3) По объему кислорода, выделившегося в результате реакций (1) и (2), находим количество и массу нитрата калия:

$$\begin{aligned} \nu(\text{O}_2 \text{ выделившегося в двух реакциях}) &= 2,24 / 22,4 = 0,1 \text{ моль.} \\ \nu(\text{O}_2 \text{ выделившегося во второй реакции}) &= 0,04 \cdot 3 / 2 = 0,06 \text{ моль.} \\ \nu(\text{O}_2 \text{ выделившегося в первой реакции}) &= 0,1 - 0,06 = 0,04 \text{ моль.} \\ \nu(\text{KNO}_3) &= 0,04 \cdot 2 = 0,08 \text{ моль.} \\ m(\text{KNO}_3) &= 0,08 \cdot 101 = 8,08 \text{ г.} \end{aligned}$$

4) Определяем массу KCl и рассчитываем массовые доли веществ в исходной смеси:

$$m(\text{KCl}) = 16,98 - 4,9 - 8,08 = 4 \text{ г.}$$

$$\omega(\text{KNO}_3) = 8,08 / 16,98 = 0,4759.$$

$$\omega(\text{KClO}_3) = 4,9 / 16,98 = 0,2886.$$

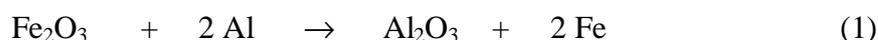
$$\omega(\text{KCl}) = 4 / 16,98 = 0,2356.$$

Ответ:  $\omega(\text{KNO}_3) = 47,59 \%$ ;  $\omega(\text{KClO}_3) = 28,86 \%$ ;  $\omega(\text{KCl}) = 23,56 \%$ .

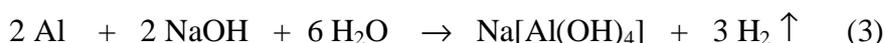
**Пример 93.** 40 г смеси оксида железа (III) и оксида меди (II) смешали с алюминием и нагрели. Половину образовавшейся массы растворили в избытке соляной кислоты, при этом выделилось 3,92 л газа (н.у.). Оставшуюся часть реакционной массы обработали избытком раствора щелочи, при этом выделилось 1,68 л газа (н.у.). Определите массовую долю алюминия в его исходной смеси с оксидами.

Решение:

1) Записываем уравнения химических реакций:



Из всех исходных веществ и продуктов реакций со щелочью с выделением газа реагирует только алюминий, следовательно, он был в избытке и остался после окончания первых двух реакций.



С соляной кислотой с выделением газа реагируют и алюминий и железо:



- 2) По количеству водорода, выделившегося в результате реакции (3) определяем количество алюминия, оставшегося после первых двух реакций:

$$v(\text{H}_2 \text{ из третьей реакции}) = 1,68 / 22,4 = 0,075 \text{ моль. } v(\text{Al в третьей реакции}) = 0,075 \cdot 2 / 3 = 0,05 \text{ моль.}$$

Поскольку щелочью обрабатывали только половину реакционной смеси,  $v(\text{Al оставшегося после первых двух реакций}) = 0,05 \cdot 2 = 0,1 \text{ моль.}$

- 3) По количеству водорода, выделившегося в результате реакций (4) и (5) определяем количество железа и массу оксида железа (III) в исходной смеси:

$$v(\text{H}_2 \text{ из четвертой и пятой реакций}) = 3,92 / 22,4 = 0,175 \text{ моль.}$$

Так как в реакциях (3) и (4) участвует одинаковое количество алюминия,  $v(\text{H}_2 \text{ из четвертой реакции}) = 0,075 \text{ моль. } v(\text{H}_2 \text{ из пятой реакции}) = 0,175 - 0,075 = 0,1 \text{ моль.}$   
 $v(\text{Fe в пятой реакции}) = 0,1 \text{ моль. } v(\text{Fe образовавшегося в первой реакции}) = 0,1 \cdot 2 = 0,2 \text{ моль.}$

$$v(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 0,2 / 2 = 0,1 \text{ моль. } m(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 0,1 \cdot 160 = 16 \text{ г.}$$

- 4) Определяем массу и количество вещества оксида меди:

$$m(\text{CuO}) = 40 - 16 = 24 \text{ г. } v(\text{CuO}) = 24 / 80 = 0,3 \text{ моль.}$$

- 5) Рассчитываем массу взятого алюминия и определяем его массовую долю в смеси с оксидами:

$$v(\text{Al в первой реакции}) = 2 \cdot v(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 2 \cdot 0,1 = 0,2 \text{ моль.}$$

$$v(\text{Al во второй реакции}) = 2 \cdot v(\text{CuO}) / 3 = 2 \cdot 0,3 / 3 = 0,2 \text{ моль.}$$

Общее количество исходного алюминия =  $v(\text{Al в первой реакции}) + v(\text{Al во второй реакции}) + v(\text{Al оставшегося после первых двух реакций}) = 0,2 + 0,2 + 0,1 = 0,5 \text{ моль.}$

$$m(\text{Al}) = 0,5 \cdot 27 = 13,5 \text{ г. } m(\text{смеси оксидов с алюминием}) = 40 + 13,5 = 53,5 \text{ г}$$

$$\omega(\text{Al}) = 13,5 / 53,5 = 0,2523.$$

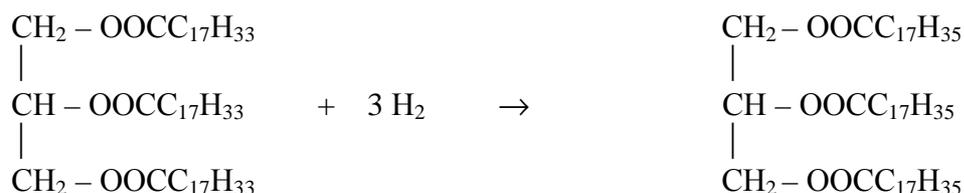
Ответ:  $\omega(\text{Al}) = 25,23 \%$ .

**Пример 94.** 2,132 кг жира, содержащего остатки только пальмитиновой и олеиновой кислот, подвергли реакции гидрирования, на что потребовалось 100,8 л водорода (н.у.). Полученный жир при нагревании обработали 3,636 л 10 %-ного (по массе) раствора

гидроксида натрия с плотностью 1,1 г/мл. Определите массовые доли веществ в полученной смеси.

Решение:

- 1) Представим себе жир, как состоящий из двух веществ — одно содержит только остатки пальмитиновой кислоты, второе только остатки олеиновой кислоты. С водородом реагирует только жир, содержащий остатки олеиновой кислоты. Запишем уравнение соответствующей химической реакции и по объему затраченного на гидрирование водорода найдем массу этого жира:



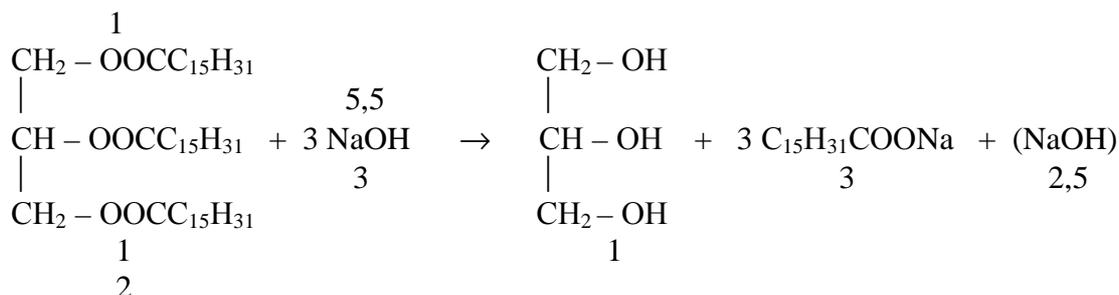
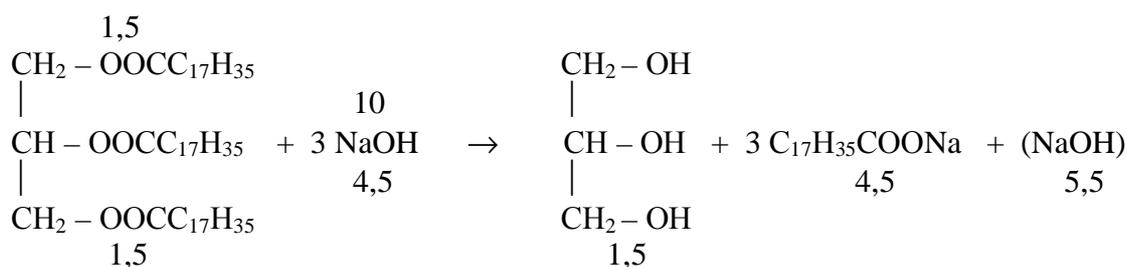
$$\begin{aligned}
 v(\text{H}_2) &= 100,8 / 22,4 = 4,5 \text{ моль. } v(\text{триолеата глицерина}) = 4,5 / 3 = 1,5 \text{ моль.} \\
 m(\text{триолеата глицерина}) &= 1,5 \cdot 884 = 1326 \text{ г.}
 \end{aligned}$$

- 2) По разности находим массу и количество трипальмитата глицерина:

$$\begin{aligned}
 m(\text{трипальмитата глицерина}) &= 2132 - 1326 = 806 \text{ г.} \\
 v(\text{трипальмитата глицерина}) &= 806 / 806 = 1 \text{ моль.}
 \end{aligned}$$

- 3) Рассчитываем количество вещества щелочи и записываем уравнения реакций жиров со щелочью, указывая количества прореагировавших и образовавшихся веществ:

$$m(\text{раствора NaOH}) = 3636 \cdot 1,1 = 4000 \text{ г. } v(\text{NaOH}) = 4000 \cdot 0,1 / 40 = 10 \text{ моль.}$$



- 4) Рассчитываем массовые доли веществ в конечном растворе:

$$m(\text{конечного раствора}) = 2132 + 4,5 \cdot 2 + 4000 = 6141 \text{ г.}$$

$$m(\text{глицерина}) = (1 + 1,5) \cdot 92 = 230 \text{ г.}$$

$$m(\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COONa}) = 4,5 \cdot 306 = 1377 \text{ г.}$$

$$m(\text{C}_{15}\text{H}_{31}\text{COONa}) = 3 \cdot 278 = 834 \text{ г.}$$

$$m(\text{NaOH}) = 2,5 \cdot 40 = 100 \text{ г.}$$

$$\omega(\text{глицерина}) = 230 / 6141 = 0,0375.$$

$$\omega(\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COONa}) = 1377 / 6141 = 0,2242.$$

$$\omega(\text{C}_{15}\text{H}_{31}\text{COONa}) = 834 / 6141 = 0,1358.$$

$$\omega(\text{NaOH}) = 100 / 6141 = 0,0163.$$

Ответ:  $\omega(\text{глицерина}) = 3,75 \%$ ;  $\omega(\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COONa}) = 22,42\%$ ;  $\omega(\text{C}_{15}\text{H}_{31}\text{COONa}) = 13,58 \%$ ;  $\omega(\text{NaOH}) = 1,63 \%$ .

### **Задачи для самостоятельного решения**

152. При обработке 5 г смеси железа, алюминия меди избытком соляной кислоты выделяется 1904 мл газа (н.у.). При действии на 5 г такой же смеси избытком раствором щелочи выделяется 672 мл газа (н.у.). Определите массовые доли металлов в исходной смеси.
153. Смесь веществ, образовавшихся после реакции алюминия со смешанным оксидом железа, обработали раствором щелочи, в результате чего выделилось 1,344 л газа. При обработке такого же количества этой смеси избытком соляной кислоты выделяется 5,376 л газа (н. у.). Определите массовые доли веществ в исходной смеси алюминия с оксидом железа.
154. К некоторому количеству смеси пропионовой кислоты и этилового спирта добавили 1,1 мл раствора серной кислоты с массовой долей кислоты 98 % и плотностью 1,818 г/мл и нагрели. Определите состав полученной реакционной смеси, если известно, что в реакцию этерификации вступило 75 % исходной пропионовой кислоты, что на нейтрализацию реакционной смеси пошло 43,68 мл раствора гидроксида натрия с массовой долей щелочи 10 % и плотностью 1,099 г/мл, и что при взаимодействии такого же количества исходной смеси избытком натрия выделилось 11,2 л водорода.
155. Смесь азота и метана с плотностью по водороду 9,2 нагрели до высокой температуры, при этом часть метана разложилась. Полученную газовую смесь привели к нормальным условиям, после чего оказалось, что ее масса по сравнению с исходной смесью уменьшилась на 0,36 г, а объем увеличился на 40%. Определите объемный состав исходной газовой смеси, если известно, что при пропускании конечной газовой смеси над никелевым катализатором ее объем уменьшается на 0,672 л (н.у.). (Выход в реакциях гидрирования считать 100 %)
156. При гидролизе некоторого количества жира, содержащего остатки только пальмитиновой и олеиновой кислот, было получено 23 г глицерина. На полное гидрирование такого же количества жира расходуется 10,08 л водорода (н.у.). Определите молярное соотношение пальмитиновой и олеиновой кислот в продуктах гидролиза и массу взятого жира.

## 2.4. Введение неизвестных величин

### 2.4.1. Введение одного неизвестного

Если вы видите, что непосредственные манипуляции с цифрами, имеющимися в условии задачи, не позволяют прийти к решению, попробуйте ввести неизвестное, обозначив за  $x$  некоторую массу, количество вещества или объем. Затем попытайтесь вывести уравнение, содержащее это неизвестное на конкретную цифру. Постарайтесь обозначить за  $x$  либо ту величину, которая требуется в ответе задачи, либо ту, из которой очень легко получить ответ.

В тех случаях, когда в задаче не происходит каких-либо химических превращений (обычно это задачи на растворы) за  $x$  можно принять искомую массу ( см. пример 35)

**Пример 95.** В насыщенном при  $20^{\circ}\text{C}$  растворе ортофосфата натрия с плотностью 1,06 г/мл молярная концентрация ионов натрия составляет 2,1 моль/л. Определите, какую массу двенадцативодного кристаллогидрата ортофосфата натрия можно растворить при данной температуре в 150 г раствора ортофосфата натрия с массовой долей соли 5%.

Решение:

1) Определяем массовую долю фосфата натрия в насыщенном растворе:

$$C(\text{Na}_3\text{PO}_4) = C(\text{Na}^+) / 3 = 2,1 / 3 = 0,7 \text{ моль/л. } m(\text{Na}_3\text{PO}_4 \text{ в } 1 \text{ л раствора}) = 0,7 \cdot 164 = 114,8 \text{ г.}$$

$$m(1 \text{ л раствора}) = 1000 \cdot 1,06 = 1060 \text{ г. } \omega(\text{Na}_3\text{PO}_4 \text{ в насыщенном растворе}) = 114,8 / 1060 = 0,1083.$$

2) Обозначим за  $x$  массу  $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12 \text{ H}_2\text{O}$ , тогда масса конечного раствора равна  $x + 150$  г и  $m(\text{Na}_3\text{PO}_4 \text{ в конечном растворе}) = (x + 150) \cdot 0,1083 = 0,1083x + 16,23$  г.

3) Рассчитываем массы  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  в исходном растворе и в исходном кристаллогидрате:

$$m(\text{Na}_3\text{PO}_4 \text{ в исходном растворе}) = 150 \cdot 0,05 = 7,5 \text{ г.}$$

$$m(\text{Na}_3\text{PO}_4 \text{ в } \text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12 \text{ H}_2\text{O}) = m(\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12 \text{ H}_2\text{O}) \cdot M(\text{Na}_3\text{PO}_4) / M(\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12 \text{ H}_2\text{O}) = x \cdot 164 / 380 = 0,4316x.$$

4) Приравниваем сумму масс  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ , найденных в п. 3), массе  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ , определенной в п. 2), и находим  $x$ :

$$7,5 + 0,4316x = 0,1083x + 16,23. \quad 0,3233x = 8,73. \quad x = 27 \text{ г.}$$

Ответ:  $m(\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12 \text{ H}_2\text{O}) = 27 \text{ г.}$

**Пример 96.** Три соли растворили в 100 г воды и получили раствор с плотностью 1,1 г/мл и с равными массовыми долями ионов галогена, аммония и натрия. Молярная концентрация нитрат-ионов в растворе оказалась большей, чем молярная концентрация ионов калия, а молярная концентрация ацетат-ионов равна 1 моль/л и меньше, чем молярная концентрация ионов калия. Определите массы солей, взятых для приготовления раствора.

Решение:

- 1) Если равны массовые доли веществ в одном растворе, то равны и их массы. Обозначим массы ионов галогена, аммония и натрия за  $x$  и выразим через  $x$  их количества веществ. Поскольку из условия задачи неясно, о каком галогене идет речь, то рассчитаем количества веществ для всех возможных галогенов:

$$\begin{aligned}v(\text{F}^-) &= x / 19 = 0,0526x \text{ моль}; \\v(\text{Cl}^-) &= x / 35,5 = 0,0282x \text{ моль}; \\v(\text{Br}^-) &= x / 80 = 0,0125x \text{ моль}; \\v(\text{I}^-) &= x / 127 = 0,0079x \text{ моль}; \\v(\text{NH}_4^+) &= x / 18 = 0,0556x \text{ моль}; \\v(\text{Na}^+) &= x / 23 = 0,0435x \text{ моль}.\end{aligned}$$

- 2) Ни галогенид натрия, ни галогенид аммония не могут быть одной из исходных солей, так как количества вещества катиона и аниона в этих галогенидах должны быть равны. Следовательно, одной из исходных солей должен быть галогенид калия, а двумя другими нитрат и ацетат натрия или аммония. Так как концентрация ацетат-ионов в растворе меньше, чем концентрация нитрат-иона, мы имеем ацетат натрия и нитрат аммония. Количество вещества ионов галогена, равное количеству вещества ионов калия должно быть промежуточным между количествами веществ нитрат-ионов и ацетат-ионов, т.е. между количествами веществ ионов натрия и аммония. Этому условию соответствует только количество вещества ионов фтора. Таким образом, галогенидом был фторид калия.

$$v(\text{CH}_3\text{COONa}) = 0,0435x \text{ моль}; v(\text{KF}) = 0,0526x \text{ моль}; v(\text{NH}_4\text{NO}_3) = 0,0556x \text{ моль}.$$

- 3) Выразим через  $x$  массу и объем конечного раствора и найдем  $x$ , учитывая, что концентрация ацетата натрия в конечном растворе = 1 моль/л:

$$\begin{aligned}m(\text{CH}_3\text{COONa}) &= 0,0435x \cdot 82 = 3,567x. \\m(\text{KF}) &= 0,0526x \cdot 58 = 3,051x. \\m(\text{NH}_4\text{NO}_3) &= 0,0556x \cdot 80 = 4,448x. \\m(\text{конечного раствора}) &= 3,567x + 3,051x + 4,448x + 100 = 11,066x + 100. \\V(\text{конечного раствора}) &= (11,066x + 100) / 1,1 = 10,06x + 90,91 \text{ мл} = 0,01006x + 0,09091 \text{ л}.\end{aligned}$$
$$0,0435x / 1 = 0,01006x + 0,09091; 0,03344x = 0,09091. x = 2,719.$$

- 4) Рассчитаем массы исходных солей:

$$\begin{aligned}m(\text{CH}_3\text{COONa}) &= 3,567 \cdot 2,719 = 9,7 \text{ г}.\end{aligned}$$
$$\begin{aligned}m(\text{KF}) &= 3,051 \cdot 2,719 = 8,3 \text{ г}.\end{aligned}$$
$$\begin{aligned}m(\text{NH}_4\text{NO}_3) &= 4,448 \cdot 2,719 = 12,09 \text{ г}.\end{aligned}$$

Ответ:  $m(\text{CH}_3\text{COONa}) = 9,7 \text{ г}; m(\text{KF}) = 8,3 \text{ г}; m(\text{NH}_4\text{NO}_3) = 12,09 \text{ г}.$

**Если в задаче происходят химические превращения веществ, то за неизвестное лучше принимать количество вещества – это облегчает расчеты (см. примеры 43, 59, 60, 62, 65, 68, 72, 82, 83, 84, 87 и 88)**

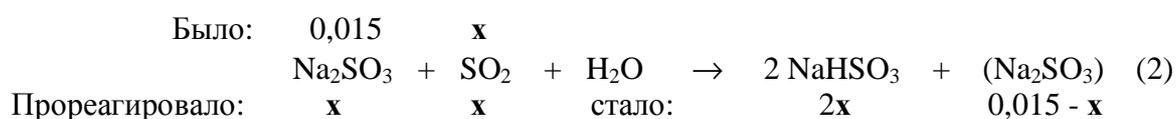
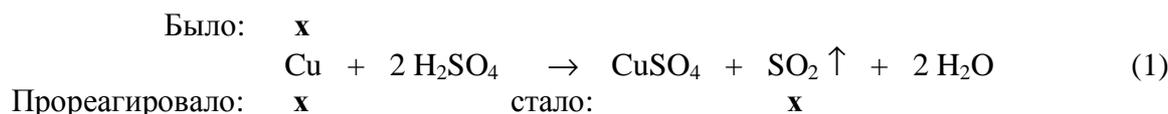
**Пример 97.** Газ, образовавшийся при нагревании меди в избытке концентрированной серной кислоты, пропустили через 18,2 мл раствора сульфита натрия с массовой до-

лей соли 0,0944 и плотностью 1,1 г/мл. При этом образовался раствор двух солей с равными массовыми долями. Определите массу растворившейся меди и массовые доли солей в конечном растворе.

Решение:

- 1) Рассчитаем количество вещества сульфита натрия, обозначим за  $x$  количество вещества взятой меди и запишем уравнения химических реакций, указав количества реагирующих и образующихся веществ:

$$v(\text{Na}_2\text{SO}_3) = 18,2 \cdot 1,1 \cdot 0,0944 / 126 = 0,015 \text{ моль.}$$



- 2) Если массовые доли двух веществ в одном и том же растворе равны между собой, то равны и их массы. Выражаем через  $x$  массы двух солей и приравнивая их, находим  $x$ :

$$m(\text{NaHSO}_3) = 2x \cdot 104 = 208x.$$

$$m(\text{Na}_2\text{SO}_3) = (0,015 - x) \cdot 126 = 1,89 - 126x.$$

$$208x = 1,89 - 126x. \quad 334x = 1,89. \quad x = 0,005659$$

- 3) Находим массу меди, массу конечного раствора и массовые доли солей в конечном растворе:

$$m(\text{Cu}) = 0,005659 \cdot 64 = 0,3622 \text{ г.}$$

$$m(\text{конечного раствора}) = m(\text{раствора Na}_2\text{SO}_3) + m(\text{SO}_2) = 18,2 \cdot 1,1 + 0,005659 \cdot 64 = 20,38 \text{ г.}$$

$$m(\text{NaHSO}_3) = 208 \cdot 0,005659 = 1,177 \text{ г.}$$

$$\omega(\text{NaHSO}_3) = \omega(\text{Na}_2\text{SO}_3) = 1,177 / 20,38 = 0,05776.$$

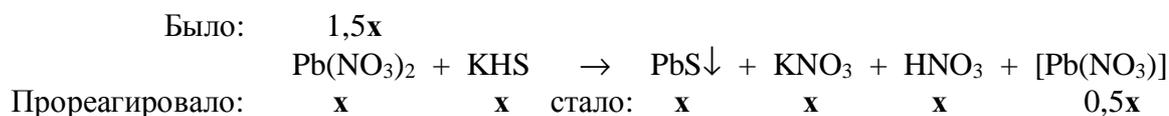
Ответ:  $m(\text{Cu}) = 0,3622 \text{ г.}$   $\omega(\text{NaHSO}_3) = \omega(\text{Na}_2\text{SO}_3) = 5,776 \text{ \%}$ .

**Пример 98.** В результате смешивания раствора нитрата свинца с раствором гидросульфида калия образовался раствор, масса которого равна массе одного из исходных растворов, и в котором молярные концентрации ионов калия и нитрат-ионов относятся как 1 : 3, а массовая доля воды равна 80,1 %. Определите массовые доли веществ в исходных и конечном растворах.

Решение:

- 1) Поскольку масса конечного раствора равна массе одного из исходных растворов, масса второго исходного раствора должна равняться массе осадка сульфида свинца. Вторым раствором может быть только раствор гидросульфида калия, так как молярная масса нитрата свинца больше молярной массы сульфида свинца и масса его раствора не может быть равной массе осадка.

- 2) Пусть  $\nu(\text{PbS}) = x$ , а масса конечного раствора и, следовательно, масса раствора нитрата ртути равны 100 г. Поскольку концентрация нитрат-ионов в конечном растворе больше концентрации ионов калия, нитрат свинца был в избытке. Записываем уравнение реакции и указываем количества реагирующих и образующихся веществ:



$$\nu\{\text{Pb(NO}_3)_2 \text{ в конечном растворе}\} = [\nu(\text{K}^+) \cdot 3 - \nu(\text{NO}_3^- \text{ в KNO}_3 \text{ и в HNO}_3)] / 2 = (x \cdot 3 - 2x) / 2 = 0,5x.$$

- 3) Выражаем через  $x$  массы веществ в конечном растворе и находим  $x$ :

$$m(\text{KNO}_3) = 101x \text{ г.}$$

$$m\{\text{Pb(NO}_3)_2 \text{ в конечном растворе}\} = 0,5x \cdot 331 = 165,5x \text{ г.}$$

$$m(\text{HNO}_3) = 63x \text{ г.}$$

$$m(\text{воды в конечном растворе}) = 100 \cdot 0,801 = 80,1 \text{ г.}$$

$$m(\text{растворенных веществ}) = 100 - 80,1 = 19,9 \text{ г.}$$

$$101x + 165,5x + 63x = 19,9. \quad 329,5x = 19,9. \quad x = 0,0604 \text{ моль.}$$

- 4) Рассчитываем массовые доли веществ в исходных и конечном растворах:

$$m[\text{Pb(NO}_3)_2 \text{ в исходном растворе}] = 331 \cdot 1,5 \cdot 0,0604 = 30 \text{ г.}$$

$$\omega[\text{Pb(NO}_3)_2 \text{ в исходном растворе}] = 30 / 100 = 0,3.$$

Масса раствора KHS равна массе сульфида свинца.

$$m(\text{раствора KHS}) = 239 \cdot 0,0604 = 14,4 \text{ г.}$$

$$m(\text{KHS}) = 72 \cdot 0,0604 = 4,35 \text{ г.}$$

$$\omega(\text{KHS в исходном растворе}) = 4,35 / 14,4 = 0,302.$$

$$\omega\{\text{Pb(NO}_3)_2 \text{ в конечном растворе}\} = 165,5 \cdot 0,0604 / 100 = 0,1.$$

$$\omega(\text{KNO}_3) = 101 \cdot 0,0604 / 100 = 0,061.$$

$$\omega(\text{HNO}_3) = 63 \cdot 0,0604 / 100 = 0,038.$$

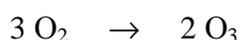
Ответ:  $\omega\{\text{Pb(NO}_3)_2 \text{ в исходном растворе}\} = 30 \%$ .  $\omega(\text{KHS в исходном растворе}) = 30,2 \%$ .  $\omega\{\text{Pb(NO}_3)_2 \text{ в конечном растворе}\} = 10 \%$ .  $\omega(\text{KNO}_3) = 6,1 \%$ .  $\omega(\text{HNO}_3) = 3,8 \%$ .

**В задачах на газы через неизвестное можно обозначать объем газа, если это не приводит к усложнению расчетов.**

**Пример 99.** Некоторый объем кислорода смешали с 5,6 л азота (н.у.) и пропустили через озонатор, в результате чего объем газовой смеси уменьшился на 9,1 %, а ее плотность стала 1,482 г/л (н.у.). Определите объем взятого кислорода.

Решение:

- 1) Записываем уравнение химической реакции:



- 2) Обозначим за  $x$  объем исходного кислорода и выразим через  $x$  объемы исходной и конечной газовых смесей:

$$V(\text{исходной смеси}) = x + 5,6 \text{ л.}$$

$$V(\text{конечной смеси}) = V(\text{исходной смеси}) - 0,091 \cdot V(\text{исходной смеси}) = 0,909 \cdot V(\text{исходной смеси}).$$

$$V(\text{конечной смеси}) = 0,909 \cdot (x + 5,6) = 0,909x + 5,0904 \text{ л.}$$

- 3) Выражаем через  $x$  массы исходной (как сумму масс исходных газов) и конечной (как произведение плотности на объем) газовых смесей и приравниваем их, так как масса газов в результате пропускания через озонатор не изменяется. Находим  $x$ :

$$m(\text{исходной смеси}) = (x / 22,4) \cdot 32 + (5,6 / 22,4) \cdot 28 = 1,429x + 7.$$

$$m(\text{конечной смеси}) = (0,909x + 5,0904) \cdot 1,482 = 1,347x + 7,544.$$

$$1,429x + 7 = 1,347x + 7,544. 0,082x = 0,544. x = 6,634 \text{ л.}$$

Ответ:  $V(\text{O}_2) = 6,634 \text{ л.}$

### **Задачи для самостоятельного решения**

157. Сколько г оксида серы (VI) надо растворить в 55,6 мл 91 %-ной (по массе) серной кислоты с плотностью 1,799 г/мл, чтобы получить олеум, в котором массовая доля кислорода как элемента составляет 63,72 %. Какова массовая доля оксида серы (VI) в этом олеуме?
158. В одном литре воды растворили 330 г соли, затем добавили некоторые количества растворов кислоты и щелочи с массовыми долями 20 % и получили раствор, имеющий сильно кислую реакцию среды, в котором массовые доли ионов щелочного металла, сульфат-ионов и хлорид-ионов равны между собой. Определите массовые доли веществ, присутствующих в полученном растворе, если известно, что молярная концентрация ионов щелочного металла в нем больше концентрации ионов аммония.
159. При растворении некоторого количества оксида фосфора (V) в 100 г раствора фосфорной кислоты ее массовая доля увеличивается с 20 до 34,68 %. Рассчитайте массовые доли веществ в растворе, образующемся при добавлении такого же количества оксида фосфора (V) к 90,9 мл раствора гидроксида натрия с массовой долей щелочи 20% и плотностью 1,1 г/мл. (Ответ: 12,4 и 14,4%)
160. Некоторое количество бензола обработали 200 мл смеси растворов азотной и серной кислот с плотностью 1,6 г/мл и массовой долей серной кислоты 50 %. После проведения реакции массовая доля серной кислоты в неорганическом слое увеличилась до 53,78 %. Органический слой подвергли восстановлению в присутствии чугунных стружек и соляной кислоты. Определите массу взятого бензола и массу полученного конечного продукта, если выход на каждой из обеих стадий составлял 80 %.
161. К 100 г раствора нитрата ртути (II) добавили раствор гидрофосфата натрия и получили раствор, масса которого равна массе одного из исходных растворов. Определите массы веществ, содержащихся в полученном растворе, если известно, что молярные концентрации ионов натрия и нитрат-ионов в нем относятся как 1 : 2, а массовая доля воды составляет 80,19%.

162. 8,96 л (н.у.) метиламина сожгли в избытке кислорода. Полученную газовую смесь привели к нормальным условиям и пропустили через озонатор, причем оказалось, что ее плотность при этом увеличилась на 4,17 %, и стала равной 1,643 г/л (н.у.). Определите исходный объем кислорода, и объемные доли веществ в конечной газовой смеси.

#### 2.4.2. Введение нескольких неизвестных и составление систем уравнений.

Существует значительное число задач, наиболее рациональное решение которых требует введения нескольких неизвестных и решения системы уравнений. Такая ситуация обычно возникает в тех случаях, когда цифровые данные задачи касаются одновременно одной и той же смеси, одного и того же раствора, или одних и тех же уравнений реакций.

Если в задаче идет речь о смесях или растворах за  $x$  и  $y$  можно обозначать искомые массы веществ (см. примеры 22 и 36) или количества их вещества (см. пример 9). Если, однако, с этой смесью или раствором происходят какие-либо дальнейшие химические превращения, за неизвестные лучше принимать именно количества веществ компонентов смеси или раствора (см. примеры 26, 48, 49, 61, 70, 79 и 85). В задачах на газы в качестве неизвестных можно принимать искомые объемы.

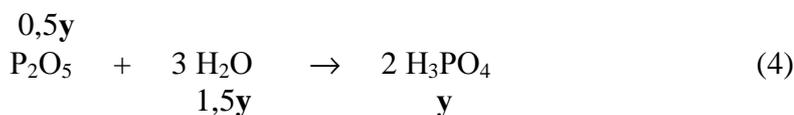
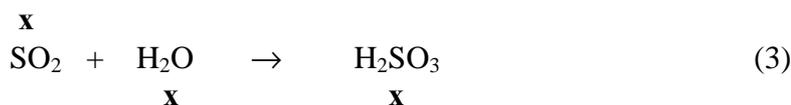
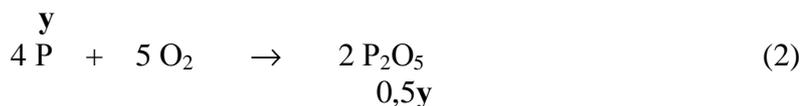
##### 2.4.2.1. Примеры задач с системами из двух неизвестных:

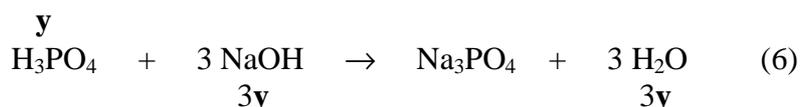
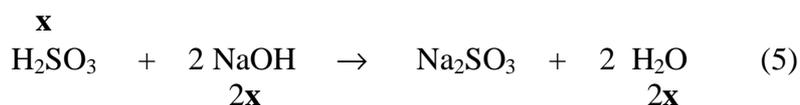
**Пример 100.** Смесь серы и фосфора сожгли в избытке кислорода, и продукты сгорания растворили в 100 г воды. На полную нейтрализацию полученного раствора пошло 97,9 мл раствора гидроксида натрия с массовой долей щелочи 40% и плотностью 1,43 г/мл. Определите массовые доли серы и фосфора в исходной смеси, если известно, что массовая доля воды в растворе после нейтрализации составила 70,9%.

Решение:

- 1) Рассчитаем массу раствора и количество вещества гидроксида натрия, обозначим за  $x$  и  $y$  количества вещества серы и фосфора, и запишем уравнения происходящих химических реакций с указанием количеств реагирующих и образующихся веществ:

$$m(\text{раствора NaOH}) = 97,9 \cdot 1,43 = 140 \text{ г. } \nu(\text{NaOH}) = 140 \cdot 0,4 / 40 = 1,4 \text{ моль.}$$





2) Выражаем через  $x$  и  $y$  массу конечного раствора и массу воды в нем. Составляем систему уравнений и находим  $x$  и  $y$ :

$$m(\text{конечного раствора}) = m(\text{SO}_2) + m(\text{P}_2\text{O}_5) + m(\text{воды}) + m(\text{раствора NaOH}) = 64x + 142 \cdot 0,5y + 100 + 140 = 64x + 71y + 240 \text{ г.}$$

$$m(\text{воды в конечном растворе}) = 100 - m(\text{воды, израсходованной в уравнениях 3 и 4}) + m(\text{воды в растворе щелочи}) + m(\text{воды, выделившейся в реакциях 5 и 6}) = 100 - (x + 1,5y) \cdot 18 + 140 \cdot 0,6 + (2x + 3y) \cdot 18 = 18x + 27y + 184 \text{ г.}$$

$$m(\text{воды в конечном растворе}) = \omega \cdot m(\text{конечного раствора}).$$

$$18x + 27y + 184 = 0,709 \cdot (64x + 71y + 240). \quad 18x + 27y + 184 = 45,376x + 50,339y + 170,16.$$

$$27,376x + 23,339y = 13,84.$$

Второе уравнение составляем на количество вещества прореагировавшей щелочи:  
 $2x + 3y = 1,4$

$$\begin{array}{l} 2x + 3y = 1,4 \\ 27,376x + 23,339y = 13,84 \end{array} \left| \begin{array}{l} \cdot 27,376 / 2 \\ \cdot 27,376 / 2 \end{array} \right. \begin{array}{l} 27,376x + 41,064y = 19,163 \\ 27,376x + 23,339y = 13,84 \end{array} \left| \begin{array}{l} 17,725y = 5,323 \\ y = 0,3 \quad x = 0,25 \end{array} \right.$$

3) Находим массы и массовые доли веществ в исходной смеси:

$$m(\text{S}) = 0,25 \cdot 32 = 8 \text{ г.}$$

$$m(\text{P}) = 0,3 \cdot 31 = 9,3 \text{ г. } m(\text{смеси}) = 8 + 9,3 = 17,3 \text{ г.}$$

$$\omega(\text{S}) = 8 / 17,3 = 0,4624.$$

$$\omega(\text{P}) = 9,3 / 17,3 = 0,5376.$$

**Ответ:**  $\omega(\text{S}) = 46,24 \%$ ;  $\omega(\text{P}) = 53,76 \%$ .

**Пример 101.** 3 объема газообразного оксида формулы  $\text{Э}^1\text{O}$  смешали с одним объемом газообразного оксида  $\text{Э}^2\text{O}_2$  и получили смесь с плотностью по водороду 18,5. Определите какие это оксиды, если известно, что в смеси равных объемов этих газов массовая доля кислорода как элемента составляет 52,17 %.

Решение:

1) Обозначим молярную массу элемента  $\text{Э}^1$  за  $x$  и молярную массу  $\text{Э}^2$  за  $y$ . Составим первое уравнение на среднюю молярную массу первой газовой смеси:

$$M_{\text{cp}} = 18,5 \cdot 2 = 39 \text{ г/моль. } \varphi(\text{Э}^1\text{O}) = 3 / 4 = 0,75. \quad \varphi(\text{Э}^2\text{O}_2) = 1 / 4 = 0,25.$$

$$M(\text{Э}^1\text{O}) = x + 16.$$

$$M(\text{Э}^2\text{O}_2) = y + 32.$$

$$0,75 \cdot (x + 16) + 0,25 \cdot (y + 32) = 39. \quad 0,75x + 0,25y + 12 + 8 = 37.$$

$$0,75x + 0,25y = 17$$

- 2) Второе уравнение составляем, используя массовую долю кислорода во второй смеси:

Если равны объемы двух газов при одинаковых условиях, то равны и их количества. Пусть во второй смеси присутствует 1 моль  $\text{Э}^1\text{O}$  и 1 моль  $\text{Э}^2\text{O}_2$ . Тогда масса смеси равна сумме их молярных масс, а масса кислорода равна  $16 + 32 = 48$  г.

$$(x + 16 + y + 32) = 48 / 0,5217. \quad x + y = 92 - 48 = 44.$$

- 3) Решаем систему уравнений и определяем формулы оксидов:

$$\begin{array}{l|l|l|l} x + y = 44 & \cdot 0,25 & 0,25x + 0,25y = 11 & 0,5x = 6 & y = 32 \\ 0,75x + 0,25y = 17 & & 0,75x + 0,25y = 17 & x = 12 & \end{array}$$

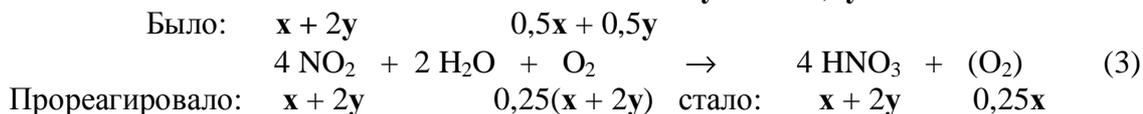
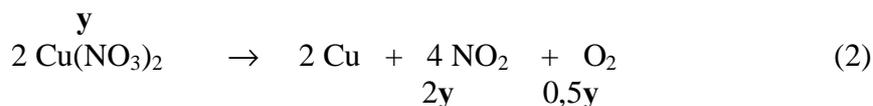
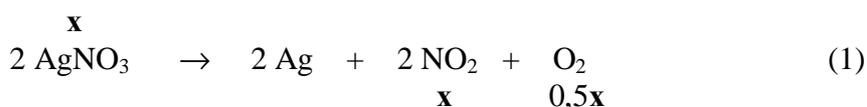
$\text{Э}^1$  — C,  $\text{Э}^2$  — S.

Ответ: CO и SO<sub>2</sub>.

**Пример 102.** Газовая смесь, образовавшаяся после прокаливания смеси нитратов серебра и меди, имела массу 23,2 г. Эту газовую смесь охладили и обработали 100 г воды, после чего осталось 1,12 л (н.у.) малорастворимого в воде газа. Определите массовые доли веществ в исходной смеси солей, и массовую долю вещества в образовавшемся растворе.

Решение:

- 1) Обозначим количество вещества нитрата серебра за  $x$  и количество вещества нитрата меди за  $y$ , и запишем уравнения протекающих химических реакций:



- 2) Составляем систему уравнений и находим неизвестные:

$$v(\text{оставшегося кислорода}) = 1,12 / 22,4 = 0,05 \text{ моль.}$$

$$m(\text{газовой смеси}) = m(\text{NO}_2) + m(\text{O}_2) = (x + 2y) \cdot 46 + (0,5x + 0,5y) \cdot 32 = 23,2.$$

$$\begin{array}{l|l|l} 62x + 108y = 23,2 & x = 0,2 & 108y = 10,8 \\ 0,25x = 0,05 & 108y = 23,2 - 12,4 & y = 0,1 \end{array}$$

- 3) Рассчитываем массовые доли веществ в исходной смеси солей и массовую долю азотной кислоты в образовавшемся растворе:

$$m(\text{AgNO}_3) = 170 \cdot 0,2 = 34 \text{ г.}$$

$$m[\text{Cu}(\text{NO}_3)_2] = 188 \cdot 0,1 = 18,8 \text{ г.}$$

$$m(\text{смеси солей}) = 34 + 18,8 = 52,8 \text{ г}$$

$$\omega(\text{AgNO}_3) = 34 / 52,8 = 0,6439.$$

$$\omega[\text{Cu}(\text{NO}_3)_2] = 18,8 / 52,8 = 0,3561.$$

$$m(\text{HNO}_3) = (0,2 + 0,1 \cdot 2) \cdot 63 = 25,2 \text{ г.}$$

$$m(\text{раствора HNO}_3) = 100 + (0,2 + 2 \cdot 0,1) \cdot 46 + 0,25 \cdot (0,2 + 2 \cdot 0,1) \cdot 32 = 121,6 \text{ г}$$

$$\omega(\text{HNO}_3) = 25,2 / 121,6 = 0,2072.$$

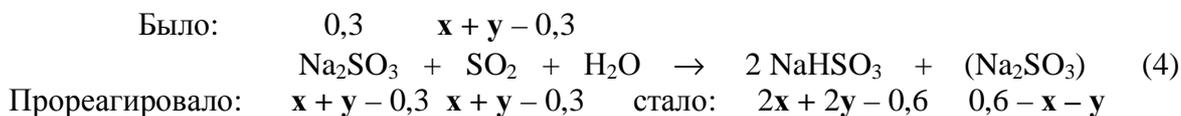
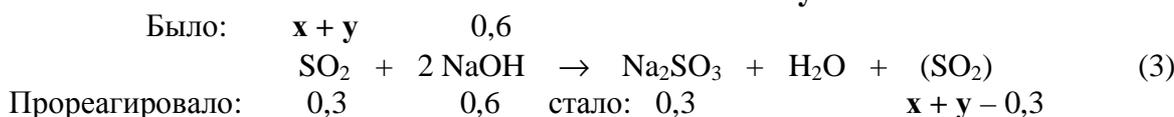
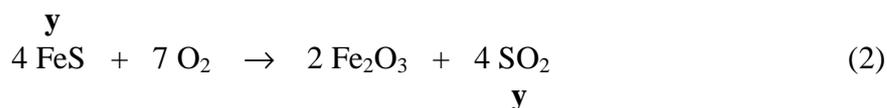
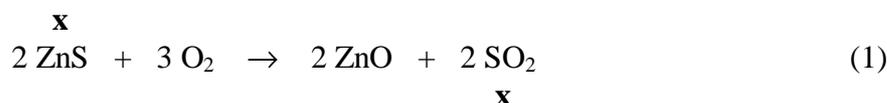
Ответ:  $\omega(\text{AgNO}_3) = 64,39 \%$ ;  $\omega[\text{Cu}(\text{NO}_3)_2] = 35,61 \%$ ;  $\omega(\text{HNO}_3) = 20,72 \%$ .

**Пример 103.** Газ, полученный при обжиге 32,6 г смеси сульфида цинка и сульфида железа (II), пропустили через 181,8 мл раствора гидроксида натрия с массовой долей щелочи 12 % и плотностью 1,1 г/мл, в результате чего было получено 200 мл раствора с молярной концентрацией кислой соли 1 моль/л. Определите массовые доли сульфидов в исходной смеси.

Решение:

- 1) Обозначим количество вещества сульфида цинка за  $x$  и количество вещества сульфида железа за  $y$ , рассчитаем количество вещества гидроксида натрия и запишем соответствующие уравнения химических реакций:

$$v(\text{NaOH}) = 181,8 \cdot 1,1 \cdot 0,12 / 40 = 0,6 \text{ моль.}$$



- 2) Рассчитываем количество вещества гидросульфита натрия и составляем систему уравнений:

$$v(\text{NaHSO}_3) = 0,2 \cdot 1 = 0,1 \text{ моль.}$$

$$\begin{array}{l} 2x + 2y - 0,6 = 0,1 \\ 97x + 88y = 32,6 \end{array} \quad \left| \cdot 44 \right. \quad \begin{array}{l} 88x + 88y = 30,8 \\ 97x + 88y = 32,6 \end{array} \quad \left| \begin{array}{l} 9x = 1,8 \\ x = 0,2 \end{array} \right. \quad \left| \begin{array}{l} y = 0,15 \end{array} \right.$$

- 3) Определяем массовые доли сульфидов в исходной смеси:

$$m(\text{ZnS}) = 97 \cdot 0,2 = 19,4 \text{ г.}$$

$$\omega(\text{ZnS}) = 19,4 / 32,6 = 0,5951.$$

$$m(\text{FeS}) = 88 \cdot 0,15 = 13,2 \text{ г.}$$

$$\omega(\text{FeS}) = 13,2 / 32,6 = 0,4049$$

Ответ:  $\omega(\text{ZnS}) = 59,51 \%$ ;  $\omega(\text{FeS}) = 40,49 \%$ .

**Пример 104.** Смесь азота, водорода и аммиака, в которой объемная доля водорода составляет 70,6 %, а массовая доля азота как элемента равна 82,4%, нагревали в присутствии железного катализатора до установления равновесия. Затем газовую смесь привели к нормальным условиям, причем ее объем оказался на 35,3 % меньше объема исходной газовой смеси (н.у.). Определите объемные доли веществ в равновесной смеси.

Решение:

- 1) Определяем состав исходной газовой смеси, приняв ее общее количество за 1 моль, а количества азота и аммиака в ней за  $x$  и  $y$  соответственно:

$$v(\text{H}_2) = 0,706 \text{ моль. } x + y = 1 - 0,706 = 0,294 \text{ моль.}$$

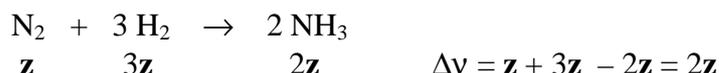
$$m(\text{смеси}) = 0,706 \cdot 2 + 28x + 17y = 1,412 + 28x + 17y. \quad m(\text{N}) = 28x + 14y.$$

$$28x + 14y = 0,824 \cdot (1,412 + 28x + 17y). \quad 28x + 14y = 1,163 + 23,07x + 14y.$$

$$4,93x = 1,163$$

$$\begin{array}{l|l|l} x + y = 0,294 & x = 0,236 & v(\text{N}_2) = 0,236 \text{ моль} \\ 4,93x = 1,163 & y = 0,058 & v(\text{NH}_3) = 0,058 \text{ моль.} \end{array}$$

- 2) Поскольку в процессе установления равновесия объем газовой смеси уменьшается, происходит реакция синтеза аммиака. Запишем уравнение реакции и определим количества прореагировавших и образовавшихся веществ:



$$\Delta v = 0,353 \text{ моль. } 2z = 0,353. \quad z = 0,177 \text{ моль. Прореагировало } 0,177 \text{ моль азота и } 0,177 \cdot 3 = 0,53 \text{ моль водорода. Образовалось } 0,353 \text{ моль аммиака.}$$

- 3) Рассчитываем состав равновесной газовой смеси и определяем объемные доли газов в ней:

$$v(\text{H}_2) = 0,706 - 0,53 = 0,176 \text{ моль.}$$

$$v(\text{N}_2) = 0,236 - 0,177 = 0,059 \text{ моль.}$$

$$v(\text{NH}_3) = 0,058 + 0,353 = 0,411 \text{ моль.}$$

$$v(\text{конечной газовой смеси}) = 1 - 0,353 = 0,647 \text{ моль.}$$

$$\varphi(\text{H}_2) = 0,176 / 0,647 = 0,272.$$

$$\varphi(\text{N}_2) = 0,059 / 0,647 = 0,0912.$$

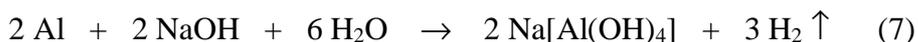
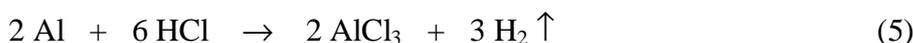
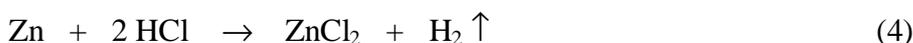
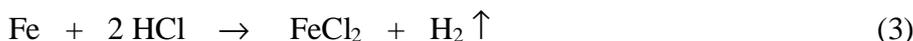
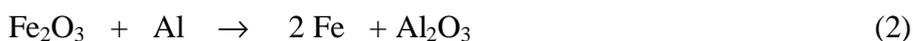
$$\varphi(\text{NH}_3) = 0,411 / 0,647 = 0,6352.$$

Ответ:  $\varphi(\text{H}_2) = 27,2 \%$ ;  $\varphi(\text{N}_2) = 9,12 \%$ ;  $\varphi(\text{NH}_3) = 63,52 \%$ .

**Пример 105.** Некоторое количество смеси оксида цинка и оксида железа (III) смешали с избытком алюминия и нагрели. Полученную смесь массой 86,5 г разделили на две равные части. Одну из них растворили в избытке соляной кислоты, в результате чего выделилось 15,68 л газа (н.у.). Вторую часть обработали избытком раствора щелочи, при этом выделилось 13,44 л газа (н.у.). Определите массовые доли веществ в исходной смеси оксидов.

Решение:

1) Запишем уравнения соответствующих химических реакций:



2) Рассчитаем количества выделившегося водорода и определим количество образовавшегося железа:

$$v(\text{H}_2 \text{ в реакциях 3, 4 и 5}) = 15,68 / 22,4 = 0,7 \text{ моль.}$$

$$v(\text{H}_2 \text{ в реакциях 6 и 7}) = 13,44 / 22,4 = 0,6 \text{ моль.}$$

Поскольку цинк и алюминий вытесняют одинаковые количества водорода и из раствора кислоты и из раствора щелочи, количество водорода, вытесненного железом равно  $0,7 - 0,6 = 0,1$  моль. Учитывая, что в реакцию с кислотой вводилась только половина полученной реакционной смеси, количество железа в ней равно 0,2 моль. Количество оксида железа в исходной смеси оксидов равно  $0,2 / 2 = 0,1$  моль.

3) Обозначим за  $x$  количество цинка в реакции (6) и за  $y$  количество алюминия в реакции (7). Составим систему уравнений и решим ее:

$$v(\text{H}_2 \text{ в реакции 6}) = x. \quad v(\text{H}_2 \text{ в реакции 7}) = 1,5y. \quad x + 1,5y = 0,6$$

$$v(\text{Zn в реакционной смеси после алюминотермии}) = 2x.$$

$$v(\text{Al оставшегося после алюминотермии}) = 2y.$$

$$v(\text{Al}_2\text{O}_3 \text{ в реакции 1}) = 2x / 3 = 0,667x.$$

$$v(\text{Al}_2\text{O}_3 \text{ в реакции 2}) = 0,2 / 2 = 0,1 \text{ моль.}$$

$$m(\text{реакционной смеси после алюминотермии}) = m(\text{Zn}) + m(\text{Fe}) + m(\text{Al}_2\text{O}_3) + m(\text{Al оставшегося после алюминотермии}) = 2x \cdot 65 + 0,2 \cdot 56 + (0,667x + 0,1) \cdot 102 + 2y \cdot 27 = 86,5.$$

$$198,03x + 54y = 65,1$$

$$\begin{array}{l|l} 198,03x + 54y = 65,1 & 198,03x + 54y = 65,1 \\ x + 1,5y = 0,6 & 36x + 54y = 21,6 \end{array} \quad \left| \quad \begin{array}{l} 162,03x = 43,5 \\ x = 0,2685 \end{array} \right.$$

4) Определяем массовые доли оксидов в исходной смеси:

$$\begin{aligned} v(\text{Zn}) &= 0,2685 \cdot 2 = 0,537 \text{ моль.} \\ v(\text{ZnO}) &= 0,537 \text{ моль. } m(\text{ZnO}) = 0,537 \cdot 81 = 43,5 \text{ г.} \\ m(\text{Fe}_2\text{O}_3) &= 0,1 \cdot 160 = 16 \text{ г.} \\ m(\text{смеси}) &= 43,5 + 16 = 59,5 \text{ г.} \\ \omega(\text{ZnO}) &= 43,5 / 59,5 = 0,7311. \\ \omega(\text{Fe}_2\text{O}_3) &= 16 / 59,5 = 0,2689. \end{aligned}$$

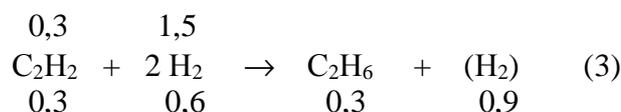
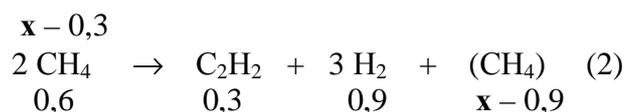
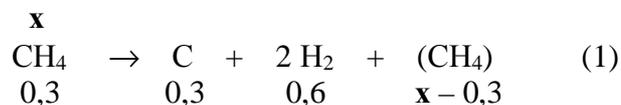
Ответ:  $\omega(\text{ZnO}) = 73,11 \%$ ;  $\omega(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 26,89 \%$ .

**Пример 106.** В результате нагревания смеси метана с аргонем с плотностью 0,9286 г/л (н.у.) часть метана разложилась и после приведения к н.у. масса газовой смеси уменьшилась на 3,6 г, а объем ее стал на 60 % больше объема исходной смеси газов. Определите объемные доли веществ в исходной и конечной газовых смесях, если известно, что при пропускании конечной газовой смеси над никелевым катализатором ее объем уменьшился на 13,44 л и образовавшаяся при этом смесь газов не обесцвечивает раствор перманганата калия.

Решение:

1) Уменьшение массы газовой смеси после разложения метана говорит о том, что часть его разложилась с образованием углерода, масса которого равна 3,6 г. Уменьшение объема газовой смеси при пропускании ее над никелевым катализатором означает, что другая часть метана разложилась с образованием ацетилена, который присоединяет водород и превращается при этом в этан, который не обесцвечивает раствор перманганата. Обозначим количества веществ исходного метана за  $x$  и аргона за  $y$ , запишем уравнения происходящих химических реакций и определим количества реагирующих и образующихся веществ:

$$v(\text{C}) = 3,6 / 12 = 0,3 \text{ моль.}$$



Изменение объема в реакции (3) соответствует объему прореагировавшего в этой реакции водорода, так как объемы ацетилена и образующегося этана равны:

$$v(\text{H}_2) = 13,44 / 22,4 = 0,6 \text{ моль.}$$

2) Составляем систему уравнений и решаем ее:

Первое уравнение выводим на среднюю молярную массу исходной смеси:

$$\begin{aligned} M_{\text{ср.}} &= 0,9286 \cdot 22,4 = 20,8. \\ 16x + 40y &= 20,8 \cdot (x + y). \quad 19,2y = 4,8x. \quad x = 4y. \end{aligned}$$

Второе уравнение выводим на изменение объема газовой смеси после разложения метана, учитывая, что для газов изменение объема соответствует изменению количества вещества. Суммарное количество веществ в газовой смеси после реакций (1) и (2) равно  $y + 0,6 + 0,3 + 0,9 + (x - 0,9) = x + y + 0,9$  моль.

$$x + y + 0,9 = 1,6(x + y). \quad 0,6x + 0,6y = 0,9.$$

$$\begin{array}{l|l} x = 4y & 2,4y + 0,6y = 0,9 \\ 0,6x + 0,6y = 0,9 & y = 0,3 \quad x = 1,2 \end{array}$$

3) Определяем объемные доли газов в исходной и конечной газовой смесях:

Исходная смесь:

$$\varphi(\text{CH}_4) = 1,2 / (1,2 + 0,3) = 0,8.$$

$$\varphi(\text{Ar}) = 1 - 0,8 = 0,2.$$

Конечная смесь:

$$v(\text{газов}) = 1,2 + 0,3 + 0,9 = 2,4 \text{ моль.}$$

$$\varphi(\text{CH}_4) = (1,2 - 0,9) / 2,4 = 0,125.$$

$$\varphi(\text{Ar}) = 0,3 / 2,4 = 0,125.$$

$$\varphi(\text{H}_2) = 1,5 / 2,4 = 0,625.$$

$$\varphi(\text{C}_2\text{H}_2) = 0,3 / 2,4 = 0,125.$$

Ответ: Исходная смесь:  $\varphi(\text{CH}_4) = 80 \%$ ;  $\varphi(\text{Ar}) = 20 \%$ . Конечная смесь:  $\varphi(\text{CH}_4) = \varphi(\text{Ar}) = 12,5 \%$ ;  $\varphi(\text{H}_2) = 62,5 \%$ .

**Пример 107.** В результате восстановления 8,1 г смеси двух альдегидов было получено 8,5 г смеси спиртов, а при обработке такого же количества исходной смеси избытком аммиачного раствора оксида серебра выпало 75,6 г осадка. Определите качественный и количественный (в массовых долях) состав смеси альдегидов. Выход во всех реакциях считать 100 %.

Решение:

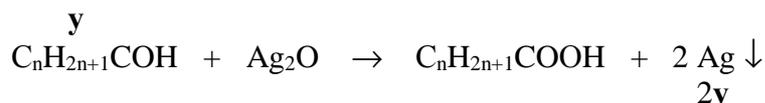
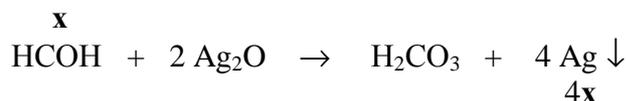
1) Запишем схемы химических реакций и определим суммарное количество вещества альдегидов:



Разница между массой спиртов и массой альдегидов равна массе водорода, пошедшего на восстановление альдегидов.

$v(\text{H}_2) = (8,5 - 8,1) / 2 = 0,2$  моль. Следовательно,  $v(\text{альдегидов}) = 0,2$  моль.

- 2)  $v(\text{Ag}) = 75,6 / 108 = 0,7$  моль. Согласно уравнению (2) в результате окисления 0,2 моль альдегидов должно образоваться 0,4 моль серебра. Избыточное количество серебра могло образоваться только в том случае, когда один из альдегидов был муравьиным альдегидом. Запишем еще раз реакции окисления альдегидов, обозначив количество вещества муравьиного альдегида за  $x$  и количество вещества второго альдегида за  $y$ :



$$\begin{array}{l|l|l|l} x + y = 0,2 & \cdot 4 & 4x + 4y = 0,8 & \\ 4x + 2y = 0,7 & & 4x + 2y = 0,7 & \left| \begin{array}{l} 2y = 0,1 \\ y = 0,05 \end{array} \right. \\ & & & x = 0,15 \end{array}$$

$v(\text{НСОН}) = 0,15$  моль.  $m(\text{НСОН}) = 0,15 \cdot 30 = 4,5$  г.  
 $m(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{СОН}) = 8,1 - 4,5 = 3,6$  г.

- 3) Находим молярную массу второго альдегида, определяем его формулу и определяем массовые доли веществ в смеси альдегидов:

$M(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{СОН}) = 3,6 / 0,05 = 72$  г/моль.  $12n + 2n + 1 + 12 + 16 + 1 = 72$ ;  $14n = 42$ ;  
 $n = 3$ . Формула второго альдегида  $\text{C}_3\text{H}_7\text{СОН}$ .

$\omega(\text{НСОН}) = 4,5 / 8,1 = 0,5556$ .  
 $\omega(\text{C}_3\text{H}_7\text{СОН}) = 3,6 / 8,1 = 0,4444$ .

Ответ:  $\omega(\text{НСОН}) = 55,56 \%$ ;  $\omega(\text{C}_3\text{H}_7\text{СОН}) = 44,44 \%$ .

### Задачи для самостоятельного решения

163. Смесь сероводорода с фосфином сожгли в избытке кислорода и продукты сгорания растворили в 50 мл воды. На полную нейтрализацию полученного раствора пошло 85,7 мл раствора гидроксида натрия с массовой долей щелочи 40 % и плотностью 1,4 г/мл. Рассчитайте объемные доли газов в исходной газовой смеси, если известно, что массовая доля воды в растворе после нейтрализации составила 67,04 %.
164. В результате осторожного смешивания раствора серной кислоты с раствором гидроксида натрия, имеющим в 2 раза большую массу, получен чистый декагидрат сульфата натрия. Определите массовые доли веществ в исходных растворах.
165. Плотность по водороду смеси четырех объемов газообразного фторида элемента (III) с одним объемом газообразного фторида другого элемента (IV) равна 37,6. Определите, какие это фториды, если известно, что в смеси равных объемов этих фторидов массовая доля фтора как элемента составляет 77,33 %.
166. 75 г смеси карбоната кальция и нитрата ртути (II) прокалили. Образовавшиеся газы обработали 30 мл воды, при этом их объем уменьшился в 3,5 раза. Определите ко-

личественный состав исходной смеси солей и массовую долю вещества в образовавшемся растворе. Растворимостью оксида углерода (IV) в воде пренебречь.

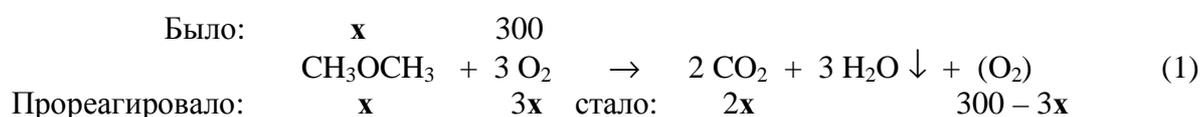
167. При растворении 5,1 г сплава магния с алюминием в 50,72 мл 36,5 %-ной (по массе) соляной кислоты с плотностью 1,183 г/мл выделилось 5,6 л газа. Образовавшийся раствор обработали 78,13 мл раствора гидроксида натрия с массовой долей щелочи 26 % и плотностью 1,28 г/мл. Выпавший осадок удалили. Определите массовые доли веществ в оставшемся растворе. (Растворимостью гидроксида магния в воде пренебречь).
168. Смесь азота, водорода и аммиака нагрели в присутствии железного катализатора до установления равновесия, затем газовую смесь привели к нормальным условиям, причем объем ее оказался на 42,86 % больше, чем объем исходной газовой смеси при н.у. Определите состав исходной газовой смеси в процентах по объему, если известно, что объемная доля аммиака в равновесной смеси равна 10 %, а массовая доля водорода как элемента в ней составляет 16 %.
169. 67,3 г смеси оксида цинка и оксида железа (III) с избытком алюминия нагрели. Полученную смесь разделили на две равные части. Одну из них растворили в избытке соляной кислоты, в результате чего выделилось 15,68 л газа (н.у.). Вторую часть обработали избытком раствора щелочи, при этом выделилось 13,44 л газа (н.у.). Определите массовые доли веществ в исходной смеси.
170. Смесь метана с аргоном с плотностью по водороду 10,4 нагрели до высокой температуры, при этом часть метана разложилась и масса газовой смеси уменьшилась на 1,2 г, а ее объем увеличился в 1,6 раза. Определите объемный состав (в литрах) исходной газовой смеси, если известно, что после пропускания конечной газовой смеси над никелевым катализатором ее объем уменьшился на 4,48 л и полученный в результате этого газ не обесцвечивает бромную воду.
171. Смесь двух насыщенных одноатомных спиртов пропустили через нагретую трубку с оксидом меди, в результате чего масса трубки уменьшилась на 0,48 г, и образовалось 1,18 г смеси двух веществ, при обработке которых избытком аммиачного раствора оксида серебра выделилось 10,8 г осадка. Определите качественный и количественный (в массовых долях) состав исходной смеси спиртов. Выход во всех реакциях считать 100 %.

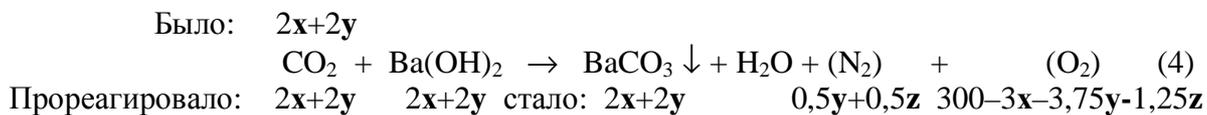
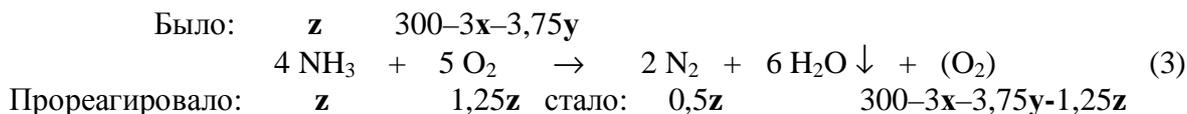
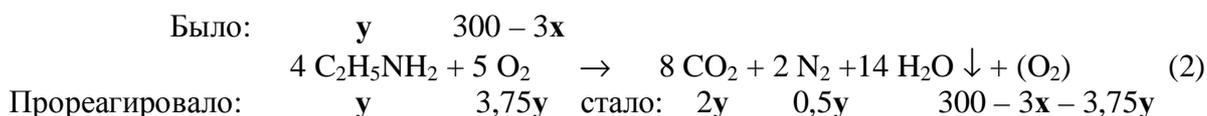
#### 2.4.2.2. Примеры задач с системами из трех неизвестных:

**Пример 108.** 300 мл кислорода при нормальных условиях смешали с 100 мл смеси диметилового эфира, этиламина и аммиака и взорвали. После приведения к нормальным условиям и конденсации паров воды объем газовой смеси составил 180 мл, а после пропускания ее через избыток раствора гидроксида бария объем газа уменьшился до 50 мл. Определите объемный состав исходной газовой смеси.

Решение:

- 1) Обозначим через  $x$ ,  $y$  и  $z$  объемы диметилового эфира, этиламина и аммиака и запишем уравнения происшедших химических реакций:





2) Составляем систему уравнений и решаем ее:

а)  $x + y + z = 100$ .

б)  $2x + 2y = 180 - 60 = 120$ .

в)  $0,5y + 0,5z + 300 - 3x - 3,75y - 1,25z = 60$ ;  $3x + 3,25y + 0,75z = 220$ .

$$\begin{array}{l} x + y + z = 100 \\ 2x + 2y = 120 \\ 3x + 3,25y + 0,75z = 220 \end{array} \left| \begin{array}{l} x + y + z = 100 \\ x + y = 60 \\ z = 40 \end{array} \right| \cdot 3 \left| \begin{array}{l} x + y = 60 \\ 3x + 3,25y = 190 \end{array} \right| \cdot 3 \left| \begin{array}{l} 3x + 3y = 180 \\ 3x + 3,25y = 190 \end{array} \right|$$

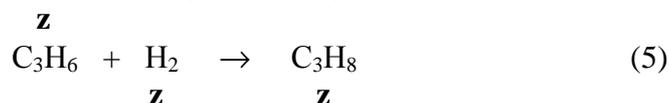
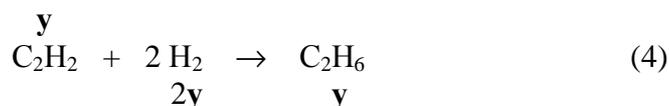
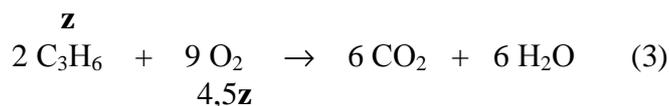
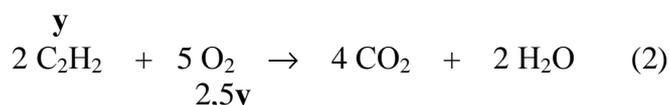
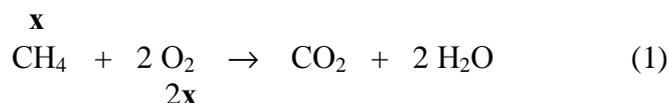
$$0,25y = 10 \quad y = 40 \quad x = 20$$

Ответ:  $V(\text{CH}_3\text{OCH}_3) = 20$  мл.  $V(\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_2) = 40$  мл.  $V(\text{NH}_3) = 40$  мл.

**Пример 109.** На сжигание смеси метана, ацетилен и пропена с плотностью по водороду 12 требуется 1,8 л (н.у.) кислорода, а на полное гидрирование такого же количества исходной смеси — равный ей объем водорода. Определите объемный состав смеси после гидрирования.

Решение:

1) Обозначим объемы метана, ацетилен и пропена за  $x$ ,  $y$  и  $z$  соответственно. Запишем уравнения химических реакций:



- 2) Рассчитываем среднюю молярную массу исходной газовой смеси, составляем систему уравнений и решаем ее:

$$M_{\text{ср.}}(\text{газовой смеси}) = 12 \cdot 2 = 24 \text{ г/моль.}$$

$$16x / (x + y + z) + 26y / (x + y + z) + 42z / (x + y + z) = 24.$$

$$16x + 26y + 42z = 24x + 24y + 24z.$$

$$-8x + 2y + 18z = 0$$

$$\begin{array}{l|l|l|l} -8x + 2y + 18z = 0 & -8x + 2y + 18z = 0 & x = 3z & x = 0,3 \\ 2x + 2,5y + 4,5z = 1,8 & 2x + 2,5y + 4,5z = 1,8 & 6x = 1,8 & y = 0,3 \\ x + y + z = 2y + z & x = y & & z = 0,1 \end{array}$$

Ответ:  $V(\text{CH}_4) = 0,3 \text{ л}$ ,  $V(\text{C}_2\text{H}_6) = 0,3 \text{ л}$ ,  $V(\text{C}_3\text{H}_8) = 0,1 \text{ л}$ .

**Пример 110.** 4,48 л (н.у.) смеси этилена с диеновым углеводородом разветвленного строения обесцвечивает 148,1 мл раствора брома в тетрахлориде углерода с массовой долей брома 15 % и плотностью 1,8 г/мл. Определите структурную формулу диенового углеводорода, если известно, что при сжигании такого же количества исходной смеси образуется 9 г воды.

Решение:

- 1) Рассчитываем количества вещества исходной газовой смеси, брома и воды:

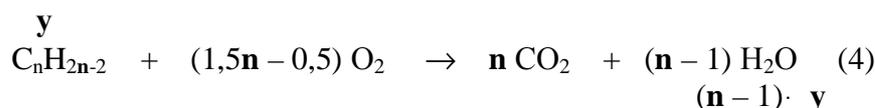
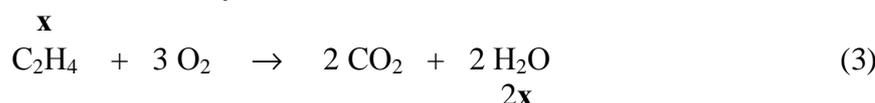
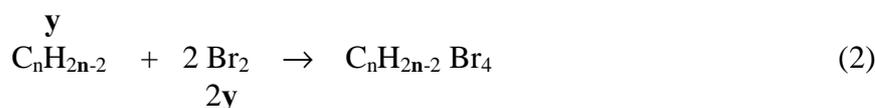
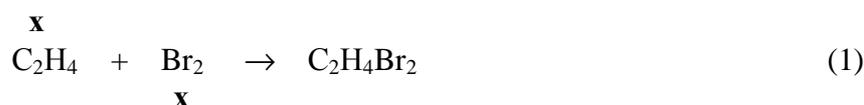
$$v(\text{газовой смеси}) = 4,48 / 22,4 = 0,2 \text{ моль.}$$

$$v(\text{Br}_2) = 148,1 \cdot 1,8 \cdot 0,15 / 160 = 0,25 \text{ моль.}$$

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

- 2) Обозначим количества вещества этилена и диенового углеводорода за  $x$  и  $y$  соответственно. Запишем уравнения химических реакций с указанием количеств реагирующих и образующихся веществ:

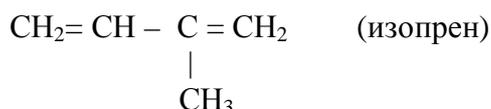
3)



- 4) Составим систему уравнений и найдем  $n$ :

$$\begin{array}{l|l|l} x + y = 0,2 & y = 0,05 & 0,3 + 0,05n - 0,05 = 0,5 \\ x + 2y = 0,25 & x = 0,15 & 0,05n = 0,25 \\ 2x + (n-1) \cdot y = 0,5 & 2x + (n-1) \cdot y = 0,5 & n = 0,25 / 0,05 = 5 \end{array}$$

5) Составим структурную формулу углеводорода  $C_5H_8$  :



Ответ: изопрен.

**Пример 111.** В 400 г водного раствора содержится 41,8 г смеси фенола, уксусной кислоты и акриловой кислоты. Для полной нейтрализации 10 г этого раствора потребовалось 9,52 мл раствора гидроксида натрия с массовой долей щелочи 6% и плотностью 1,05 г/мл. При обработке 10 г того же раствора бромной водой с массовой долей брома 3% до прекращения ее обесцвечивания было затрачено 75 г бромной воды. Рассчитайте массовые доли веществ в исходном растворе.

Решение:

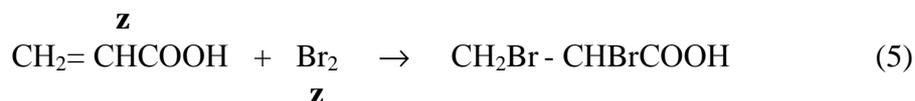
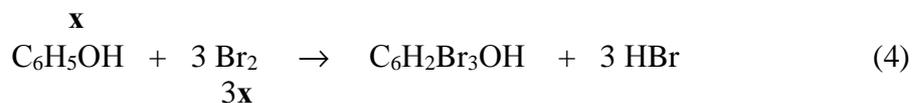
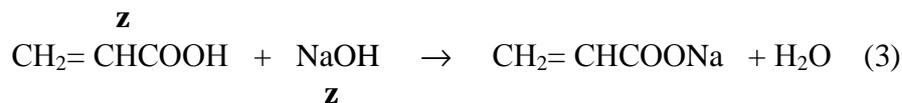
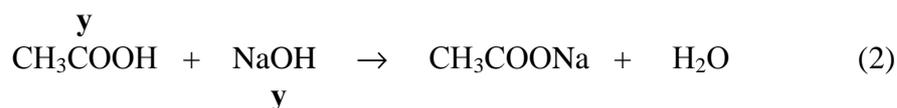
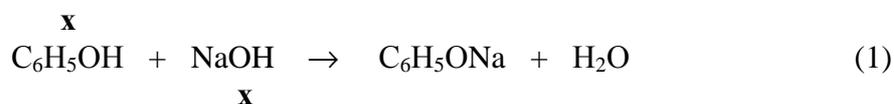
1) Рассчитываем массу смеси, содержащуюся в 10 г раствора, и количества вещества гидроксида натрия и брома:

$$m(\text{смеси веществ в 10 г раствора}) = 41,8 / 40 = 1,045 \text{ г.}$$

$$v(\text{NaOH}) = 9,52 \cdot 1,05 \cdot 0,06 / 40 = 0,015 \text{ моль.}$$

$$v(\text{Br}_2) = 75 \cdot 0,03 / 180 = 0,0125 \text{ моль.}$$

2) Обозначим количества вещества фенола, уксусной кислоты и акриловой кислоты за  $x$ ,  $y$  и  $z$  соответственно. Запишем уравнения химических реакций с указанием количеств реагирующих веществ:



3) Составляем систему уравнений и находим  $x$ ,  $y$  и  $z$ :

$$\begin{array}{l} x + y + z = 0,015 \\ 3x + z = 0,0125 \\ 94x + 60y + 72z = 1,045 \end{array} \cdot 72 \left| \begin{array}{l} 72x + 72y + 72z = 1,08 \\ 94x + 60y + 72z = 1,045 \end{array} \right. \begin{array}{l} y - 2x = 0,0025 \\ 12y - 22x = 0,035 \end{array} \cdot 12 \left| \begin{array}{l} 12y - 24x = 0,03 \\ 12y - 22x = 0,035 \end{array} \right.$$

$$2x = 0,005. \quad x = 0,0025. \quad z = 0,0125 - 0,0075 = 0,005. \quad y = 0,015 - 0,0025 - 0,005 = 0,0075.$$

- 4) Рассчитываем массы веществ в 10 мл раствора и их массовые доли в исходном растворе:

$$m(\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}) = 72 \cdot 0,0025 = 0,18 \text{ г.}$$

$$\omega(\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}) = 0,18 / 10 = 0,018.$$

$$m(\text{CH}_3\text{COOH}) = 60 \cdot 0,0075 = 0,45 \text{ г.}$$

$$\omega(\text{CH}_3\text{COOH}) = 0,45 / 10 = 0,045$$

$$m(\text{CH}_2=\text{CHCOOH}) = 72 \cdot 0,005 = 0,36 \text{ г.}$$

$$\omega(\text{CH}_2=\text{CHCOOH}) = 0,36 / 10 = 0,036.$$

Ответ:  $\omega(\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}) = 1,8 \%$ ;  $\omega(\text{CH}_3\text{COOH}) = 4,5 \%$ ;  $\omega(\text{CH}_2=\text{CHCOOH}) = 3,6 \%$ .

**Пример 112.** На нейтрализацию 23,7 г смеси уксусной и насыщенной двухосновной карбоновой кислот потребовалось 66,1 мл раствора гидроксида натрия с массовой долей щелочи 20 % и плотностью 1,21 г/мл. Определите структурную формулу двухосновной кислоты и ее массовую долю в исходной смеси, если известно, что при сжигании такого же количества исходной смеси образуется 17,92 л оксида углерода (IV) (н.у.).

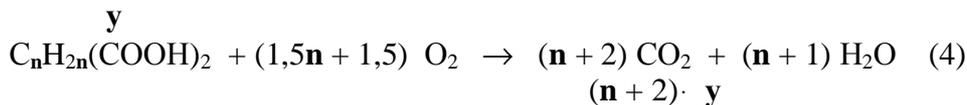
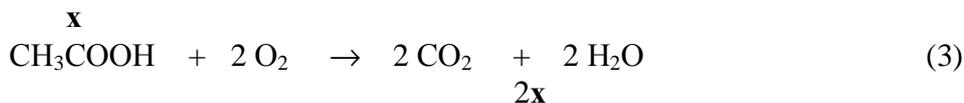
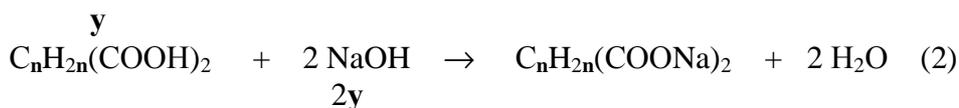
Решение:

- 1) Рассчитываем количества вещества гидроксида натрия и углекислого газа:

$$v(\text{NaOH}) = 66,1 \cdot 1,21 \cdot 0,2 / 40 = 0,4 \text{ моль.}$$

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

- 2) Обозначим количества вещества уксусной и насыщенной двухосновной карбоновой кислоты за  $x$  и  $y$  соответственно. Запишем уравнения химических реакций с указанием количеств реагирующих и образующихся веществ:



- 3) Составляем систему уравнений и находим  $x$ ,  $y$  и  $n$ :

$$\begin{array}{l} x + 2y = 0,4 \\ 2x + (n + 2) \cdot y = 0,8 \\ 60x + (14n + 90) \cdot y = 23,7 \end{array} \left| \begin{array}{l} x + 2y = 0,4 \\ 2x + ny + 2y = 0,8 \\ 60x + 14ny + 90y = 23,7 \end{array} \right. \left| \begin{array}{l} x + 2y = 0,4 \\ ny = 0,8 - 2x - 2y \\ 60x + 11,2 - 28x - 28y + 90y = 23,7 \end{array} \right.$$

$$\begin{array}{l} x + 2y = 0,4 \\ 32x + 62y = 12,5 \end{array} \left| \cdot 32 \right. \left| \begin{array}{l} 32x + 64y = 12,8 \\ 32x + 62y = 12,5 \end{array} \right. \left| \begin{array}{l} 2y = 0,3 \\ y = 0,15 \end{array} \right. \left| \begin{array}{l} x = 0,4 - 0,3 = 0,1 \end{array} \right.$$

$$n = (0,8 - 0,2 - 0,3) / 0,15 = 2$$

- 4) Составляем структурную формулу неизвестной кислоты и определяем ее массовую долю в смеси:



$$m(\text{янтарной кислоты}) = 118 \cdot 0,15 = 17,7 \text{ г.}$$

$$\omega(\text{янтарной кислоты}) = 17,7 / 23,7 = 0,7468.$$

Ответ:  $\omega(\text{янтарной кислоты}) = 74,68 \%$ .

### Задачи для самостоятельного решения

172. 100 мл смеси азота, метиламина и этана смешали (н.у.) с 250 мл кислорода и подожгли. После приведения к нормальным условиям объем смеси составил 180 мл, а объемная доля кислорода в ней оказалась 11,11%. Определите состав исходной газовой смеси.
173. Объем водорода, необходимый для полного гидрирования смеси ацетилена, пропена и паров бензола, вдвое больше объема этой смеси при тех же условиях. Определите состав исходной смеси веществ в массовых долях, если известно, что для сжигания 9,3 г смеси продуктов гидрирования требуется 23,52 л кислорода (н.у.).
174. Смесь газообразного алкина с водородом с плотностью 0,4286 г/л (н.у.) пропустили над никелевым катализатором и получили газовую смесь, не обесцвечивающую бромную воду, с плотностью 0,7143 г/л (н.у.). Определите формулу исходного алкина.
175. 4,88 г смеси стирола, фенола и анилина полностью прореагировало с 587 г бромной воды с массовой долей брома 3%. На нейтрализацию продуктов реакции потребовалось 200 мл раствора гидроксида натрия с молярной концентрацией щелочи 0,5 моль/л. Определите состав исходной смеси веществ (в массовых долях).
176. При сжигании 34,6 г смеси муравьиной и насыщенной двухосновной органической кислоты образовалось 20,16 л оксида углерода (IV) (н.у.), а на нейтрализацию такого же количества этой смеси пошло 50 мл раствора гидроксида калия с массовой долей щелочи 40% и плотностью 1,4 г/мл. Определите структурную формулу двухосновной кислоты.

### 2.4.2.3. Примеры задач с квадратными уравнениями

**Пример 113.** Смесь двух газообразных водородных соединений различных элементов, один из которых имеет валентность (III), а другой валентность (IV), с массовой долей соединения  $\text{ЭН}_4$  55,17% имеет плотность при н.у. 1,942 г/л. Определите формулы этих соединений, если известно, что в смеси равных объемов этих газов массовая доля водорода как элемента составляет 6,364%.

Решение:

- 1) Обозначим молярную массу  $\text{ЭН}_4$  за  $x$  и молярную массу  $\text{ЭН}_3$  за  $y$ . Пусть количество вещества первой газовой смеси равно 1 моль, тогда ее масса равна ее средней мо-

лярной массе. Выразим через  $x$  и  $y$  количества  $\text{ЭН}_3$  и  $\text{ЭН}_4$  и составим первое уравнение:

$$m(\text{газовой смеси}) = 1,942 \cdot 22,4 = 43,5 \text{ г.}$$

$$m(\text{ЭН}_4) = 43,5 \cdot 0,5517 = 24 \text{ г.}$$

$$v(\text{ЭН}_4) = 24 / x.$$

$$m(\text{ЭН}_3) = 43,5 - 24 = 19,5 \text{ г.}$$

$$v(\text{ЭН}_3) = 19,5 / y.$$

$$24 / x + 19,5 / y = 1. \quad 19,5x + 24y = xy.$$

- 2) Если равны объемы газов, то равны и их количества веществ. Пусть вторая смесь содержала 1 моль  $\text{ЭН}_3$  и 1 моль  $\text{ЭН}_4$ , тогда масса атомов водорода в этой смеси составит  $3 + 4 = 7$  г, а масса смеси будет равна  $x + y$ . Составляем второе уравнение с использованием массовой доли водорода:

$$x + y = 7 / 0,06364 = 110.$$

- 3) Составляем систему уравнений и находим  $x$  и  $y$ :

$$\begin{array}{l|l|l} x + y = 110 & x = 110 - y & y^2 - 105,5y + 2145 = 0 \\ 19,5x + 24y = xy & 2145 - 19,5y + 24y = 110y - y^2 & D = 105,5^2 - 4 \cdot 2145 = 2550 \end{array}$$

$$\sqrt{D} = 50,5$$

$$y_1 = (105,5 - 50,5) / 2 = 27,5. \quad x_1 = 110 - 27,5 = 82,5.$$

$$y_2 = (105,5 + 50,5) / 2 = 78. \quad x_2 = 32$$

- 4) Определяем формулы искоемых соединений:

Первый корень не подходит, так как элемента с молярной массой  $27,5 - 3 = 24,5$ , образующего газообразное соединение с водородом, в природе не существует.

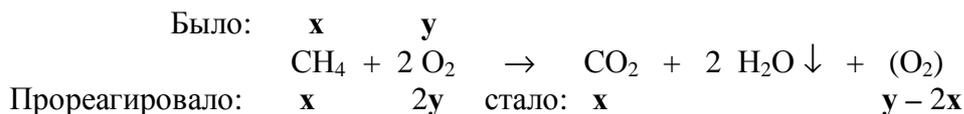
Второй корень дает молярную массу трехвалентного элемента  $= 78 - 3 = 75$  — это мышьяк и соединение  $\text{AsH}_3$ . Молярная масса четырехвалентного элемента  $= 32 - 4 = 28$  — это кремний и соединение  $\text{SiH}_4$ .

Ответ:  $\text{AsH}_3$  и  $\text{SiH}_4$ .

**Пример 114.** Смесь метана с избытком кислорода подожгли, продукты сгорания привели к нормальным условиям и получили газовую смесь, плотность которой оказалась на 25 % больше плотности исходной смеси метана с кислородом, измеренной при тех же условиях. Полученную газовую смесь пропустили через раствор гидроксида натрия с плотностью 1,2 г/мл и массовой долей щелочи 20 %, объем которого был в 537,2 раза меньше объема исходной газовой смеси, измеренного при нормальных условиях. Определите массовые доли веществ в полученном растворе. Коэффициенты растворимости гидрокарбоната и карбоната натрия в данных условиях составляют 95 и 220 г/л( $\text{H}_2\text{O}$ ) соответственно.

#### Решение

- 1) Определяем количество образовавшегося  $\text{CO}_2$ . Пусть был 1 моль исходной газовой смеси, в которой содержалось  $x$  метана и  $y$  моль кислорода. Запишем уравнение реакции, указав количества реагирующих и образующихся веществ:



Плотность исходной газовой смеси равна  $(16x + 32y) / 22,4$ ; плотность конечной газовой смеси равна  $(44x + 32y - 64x) / [22,4 \cdot (x + y - 2x)]$ . Учитывая, что плотность конечной смеси на 25 % больше плотности исходной смеси, записываем первое уравнение:

$$\begin{aligned}
 [(16x + 32y) / 22,4] \cdot 1,25 &= (44x + 32y - 64x) / [22,4 \cdot (x + y - 2x)]; \\
 (20x + 40y) \cdot (y - x) &= 32y - 20x; \\
 20xy + 40y^2 - 20x^2 - 40xy &= 32y - 20x; \\
 40y^2 - 20x^2 - 20xy &= 32y - 20x;
 \end{aligned}$$

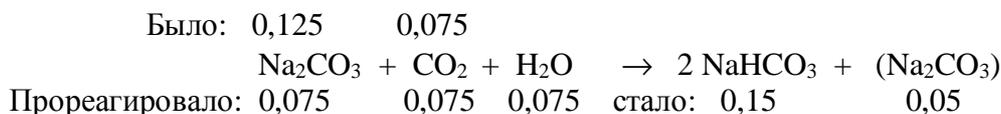
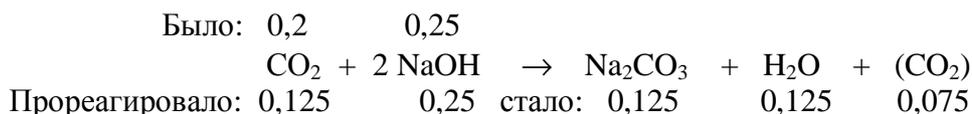
Второе уравнение:  $x + y = 1$ . выражаем  $x$  через  $y$  и подставляем в первое уравнение:

$$\begin{aligned}
 x &= 1 - y. \quad x^2 = 1 - 2y + y^2 \\
 40y^2 - 20(1 - 2y + y^2) - 20(1 - y)y &= 32y - 20(1 - y); \\
 40y^2 - 20 + 40y - 20y^2 - 20y + 20y^2 &= 32y - 20 + 20y; \\
 40y^2 - 32y &= 0; \quad 40y = 32; \quad y = 0,8; \quad x = 0,2
 \end{aligned}$$

$$v(\text{CO}_2) = 0,2 \text{ моль.}$$

- 2) Определяем количество вещества гидроксида натрия и количества образовавшихся веществ:

$$\begin{aligned}
 V(\text{раствора NaOH}) &= 22,4 / 537,2 = 0,0417 \text{ л} = 41,7 \text{ мл.} \\
 m(\text{раствора NaOH}) &= 41,7 \cdot 1,2 = 50 \text{ г.} \\
 v(\text{NaOH}) &= 50 \cdot 0,2 / 40 = 0,25 \text{ моль.}
 \end{aligned}$$



- 3) Рассчитываем массовые доли веществ в конечном растворе:

$$\begin{aligned}
 m(\text{H}_2\text{O в конечном растворе}) &= 50 \cdot 0,8 + (0,125 - 0,075) \cdot 18 = 40,9 \text{ г.} \\
 m(\text{NaHCO}_3) &= 0,15 \cdot 84 = 12,6 \text{ г.} \\
 m(\text{Na}_2\text{CO}_3) &= 0,05 \cdot 106 = 5,3 \text{ г.}
 \end{aligned}$$

95 г NaHCO <sub>3</sub> растворяется в 1000 г H <sub>2</sub> O		220 г Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> растворяется в 1000 г H <sub>2</sub> O
<b>a</b> —                    40,9		<b>b</b> —                    40,9
<b>a</b> = 40,9 · 95 / 1000 = 3,89		<b>b</b> = 40,9 · 220 / 1000 = 9

Из раствора выпадет  $12,6 - 3,89 = 8,71$  г  $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  весь останется в растворе.

$$m(\text{конечного раствора}) = 40,9 + 3,89 + 5,3 = 50,1 \text{ г}$$

$$\omega(\text{NaHCO}_3) = 3,89 / 50,1 = 0,077;$$

$$\omega(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 5,3 / 50,1 = 0,106.$$

Ответ:  $\omega(\text{NaHCO}_3) = 7,7 \%$ ;  $\omega(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 10,6 \%$ .

### **Задачи для самостоятельного решения**

177. Плотность смеси двух газообразных водородных соединений различных элементов формулы  $\text{Э}^1\text{H}_2$  и  $\text{Э}^2\text{H}_3$ , в которой массовая доля соединения  $\text{Э}^1\text{H}_2$  составляет 56,67%, при н.у. равна 2,009 г/л. Определите какие это соединения, если известно, что в смеси равных объемов этих веществ массовая доля водорода как элемента равна 4,464 %.

178. 5,6 л смеси метиламина с избытком кислорода подожгли. Полученную газовую смесь привели к нормальным условиям и пропустили через избыток раствора гидроксида натрия и получили 80 г раствора с массовой долей щелочи 2,5 %. Определите массу сожженного метиламина и массовую долю щелочи в исходном растворе, если известно, что плотность газовой смеси в результате пропускания через раствор щелочи уменьшилась на 11,3 %.

### **2.5. Введение произвольного параметра**

Часто бывает так, что в условии задачи не приводится ни одной цифры, дающей конкретное значение массы, объема или количества какого-либо вещества или смеси веществ, а все числовые данные являются относительными и могут соответствовать любой массе, объему или количеству исходных или конечных веществ. К таким данным относятся такие параметры, как массовая или объемная доля, плотность, концентрация, относительные изменения массы, количества вещества или объема, выраженные в процентах или во столько-то раз.

Решение такого рода задач лучше всего начинать с введения какого-то произвольного параметра – определенной массы, объема или количества вещества, удобного для дальнейших расчетов.

Если в условии задачи фигурируют только массовые доли, и не происходит химических превращений, удобно принять массу какого-либо вещества или смеси веществ за 100 г. В этом случае массовые доли компонентов, выраженные в процентах, будут равны их массам (см. примеры 12, 23, 39, 42 и 98).

Когда в условии задачи исходные данные представляют собой молярные концентрации, может быть удобным принять объем раствора за 1 литр, тогда количества растворенных веществ будут численно равны их молярным концентрациям. (см. пример 43).

В задачах на газы, в условиях которых исходными данными являются плотности или объемные доли, а искомый ответ также представлен в виде объемных соотношений, в качестве произвольного параметра можно вводить 1 литр газа или газовой смеси ( см. примеры 28 и 30).

В большинстве задач, особенно если в них происходят химические реакции и имеются данные, касающиеся не только объемов, но и масс, в качестве произвольного

параметра лучше всего вводить 1 моль какого либо вещества или какой-либо смеси (см. примеры 10, 59, 101, 104, 113 и 114).

**Пример 115.** Смесь ацетилена с водородом пропустили над никелевым катализатором, при этом объем газа уменьшился в два раза. Определите состав образовавшейся газовой смеси (в % по объему), если известно, что ацетилен прореагировал полностью, а смесь состоит из трех газов и ее плотность при н.у. равна 0,8214 г/л.

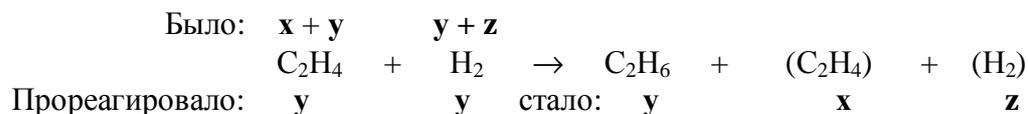
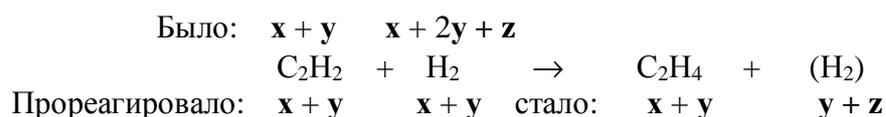
Решение:

- 1) Пусть объем конечной газовой смеси равен 1 л, тогда объем исходной смеси будет равен 2 л. Поскольку ацетилен прореагировал полностью, конечная газовая смесь должна состоять из этилена, этана и водорода. Обозначим их объемы через  $x$ ,  $y$  и  $z$ . Так как общий объем равен 1 л, объемы газов численно равны их объемным долям.

$$M_{\text{ср.}}(\text{конечной газовой смеси}) = 0,8214 \cdot 22,4 = 18,4 \text{ г/моль.}$$

$$28x + 30y + 2z = 18,4.$$

- 2) Запишем уравнения химических реакций, проставив объемы реагирующих и образующихся газов:



- 3) составляем систему уравнений и находим неизвестные:

$$\begin{array}{l} x + y + z = 1 \\ 2x + 3y + z = 2 \\ 28x + 30y + 2z = 18,4 \end{array} \cdot 2 \begin{array}{l} x + 2y = 1 \\ 4x + 6y + 2z = 4 \\ 28x + 30y + 2z = 18,4 \end{array} \left| \begin{array}{l} x + 2y = 1 \\ 24x + 24y = 14,4 \end{array} \right| \begin{array}{l} 24 \quad 24x + 48y = 24 \\ \quad \quad 24x + 24y = 14,4 \end{array}$$

$$24y = 9,6. \quad y = 0,4. \quad x = 1 - 0,8 = 0,2. \quad z = 1 - 0,2 - 0,4 = 0,4.$$

Ответ:  $\varphi(\text{C}_2\text{H}_6) = 40 \%$ ;  $\varphi(\text{C}_2\text{H}_4) = 20 \%$ ;  $\varphi(\text{H}_2) = 40 \%$ .

**Пример 116.** Смесь оксида углерода (II) и водорода с плотностью по водороду 6,2 поместили в условия, в которых часть газов обратимо прореагировала между собой с образованием метанола. Определите состав равновесной смеси в объемных процентах, если известно, что ее объем на 40% меньше объема исходной смеси в тех же условиях. Метанол в этих условиях находится в газообразном состоянии.

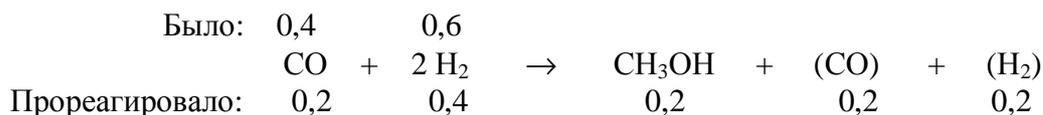
Решение:

- 1) Обозначим объемы CO и H<sub>2</sub> в исходной газовой смеси за  $x$  и  $y$  и пусть общий объем исходной газовой смеси был равен 1 л. Используя значение плотности по водороду определим  $x$  и  $y$ :

$$M_{\text{ср.}}(\text{газовой смеси}) = 6,2 \cdot 2 = 12,4 \text{ г/моль.}$$

$$\begin{array}{l|l|l|l} x + y = 1 & \cdot 28 & 28x + 28y = 28 & \\ 28x + 2y = 12,4 & & 28x + 2y = 12,4 & \\ \hline & & & \begin{array}{l} 26y = 15,6 \\ y = 0,6 \end{array} \end{array} \quad \left| \quad \begin{array}{l} x = 1 - 0,6 = 0,4 \\ \end{array} \right.$$

- 2) Изменение объема в результате реакции составило 0,4 л и объем конечной газовой смеси составил  $1 - 0,4 = 0,6$  л. Поскольку объем образующегося метанола равен объему прореагировавшего СО, изменение объема соответствует объему прореагировавшего водорода. Запишем уравнение химической реакции, проставив объемы реагирующих и образующихся веществ:



- 3) Определяем объемные доли газов в равновесной смеси:

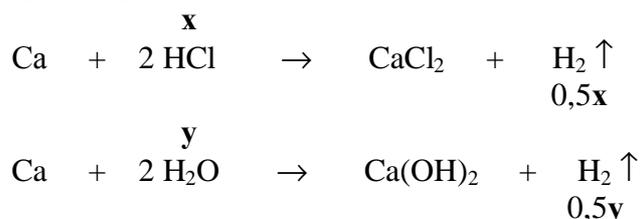
$$\varphi(\text{СН}_3\text{ОН}) = \varphi(\text{СО}) = \varphi(\text{Н}_2) = 0,2 / 0,6 = 0,3333$$

Ответ:  $\varphi(\text{СН}_3\text{ОН}) = \varphi(\text{СО}) = \varphi(\text{Н}_2) = 33,33 \%$ .

**Пример 117.** Избыток кальция обработали некоторым количеством соляной кислоты с плотностью 1,05 г/мл. Определите массовую долю хлороводорода в исходной кислоте, если известно, что объем выделившегося водорода в 620 раз больше объема израсходованной кислоты.

Решение:

- 1) Пусть объем соляной кислоты равен 1 л, тогда ее масса равна 1050 г, а объем выделившегося в результате реакций водорода равен 620 л.  $v(\text{Н}_2) = 620 / 22,4 = 27,68$  моль. Запишем уравнения происходящих химических реакций, обозначив количество вещества хлороводорода в соляной кислоте за  $x$ , а количество воды за  $y$ :



- 2) Составляем систему уравнений и находим  $x$ :

$$\begin{array}{l|l|l} 36,5x + 18y = 1050 & & \\ 0,5x + 0,5y = 27,68 & \cdot 36 & \\ \hline & & \begin{array}{l} 36,5x + 18y = 1050 \\ 18x + 18y = 996,48 \end{array} \end{array} \quad \left| \quad \begin{array}{l} 18,5x = 53,52 \\ x = 2,893 \end{array} \right.$$

- 3) Находим массовую долю хлороводорода в исходной кислоте:

$$m(\text{НСl}) = 2,893 \cdot 36,5 = 105,6 \text{ г.}$$

$$\omega(\text{НСl}) = 105,6 / 1050 = 0,1006.$$

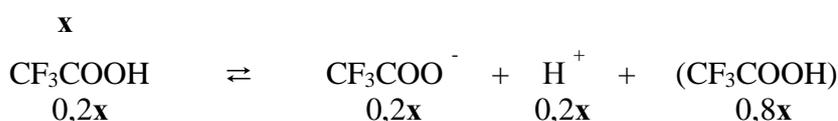
Ответ:  $\omega(\text{НСl}) = 10,06 \%$ .

**Пример 118.** Раствор трихлоруксусной кислоты в метаноле с плотностью 1,104 г/мл, в котором суммарная молярная концентрация всех частиц составляет 15,6 моль/л, а степень диссоциации кислоты 20 % нагревали до установления химического равновесия. Определите массовые доли веществ в исходной и равновесной смеси, если известно, что суммарная молярная концентрация всех частиц в последней составила 15 моль/л. Изменениями плотности раствора и степени диссоциации кислоты пренебречь.

Решение:

- 1) Пусть объем исходного раствора равен 1 л, тогда его масса равна 1104 г, а суммарное количество вещества частиц в нем равно 15,6 моль. Обозначим количество вещества трихлоруксусной кислоты за  $x$ , количество вещества метанола за  $y$  и рассчитаем состав исходного раствора:

Запишем уравнение диссоциации трифторуксусной кислоты, учитывая, что протиссоциировало ее 20 %, т.е.  $0,2x$ :



Суммарное количество вещества частиц в растворе =  $0,2x + 0,2x + 0,8x + y = 1,2x + y$

$$\begin{array}{l} 1,2x + y = 15,6 \\ 114x + 32y = 1104 \end{array} \left| \cdot 32 \right. \begin{array}{l} 38,4x + 32y = 499,2 \\ 114x + 32y = 1104 \end{array} \left| \begin{array}{l} 75,6x = 604,8 \\ x = 8 \end{array} \right. \left| \begin{array}{l} y = 15,6 - 1,2 \cdot 8 = 6 \end{array} \right.$$

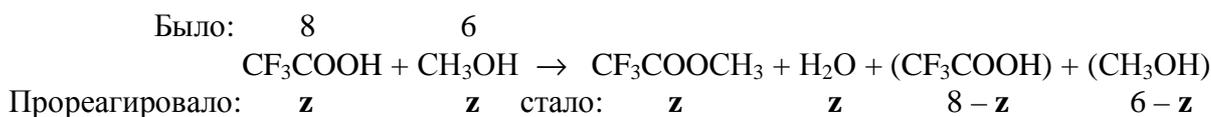
$$v(\text{CF}_3\text{COOH}) = 8 \text{ моль.}$$

$$\omega(\text{CF}_3\text{COOH}) = 114 \cdot 8 / 1104 = 0,8261.$$

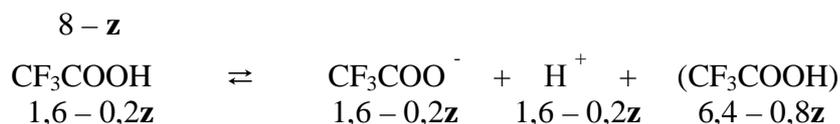
$$v(\text{CH}_3\text{OH}) = 6 \text{ моль.}$$

$$\omega(\text{CH}_3\text{OH}) = 6 \cdot 32 / 1104 = 0,1739.$$

- 2) Запишем уравнение реакции этерификации, предположив, что к моменту достижения равновесия прореагировало  $z$  моль кислоты, и рассчитаем состав равновесной смеси:



Из оставшейся трифторуксусной кислоты протиссоциировало  $0,2 \cdot (8 - z) = 1,6 - 0,2z$  моль.



Суммарное количество вещества частиц в конечном растворе =  $z + z + (1,6 - 0,2z) + (1,6 - 0,2z) + (6,4 - 0,8z) + (6 - z) = 15,6 - 0,2z$ .  $15,6 - 0,2z = 15$ .  
 $0,2z = 0,6$ .  $z = 3$ .

Состав равновесной смеси:  $v(\text{CF}_3\text{COOCH}_3) = v(\text{H}_2\text{O}) = 3$  моль.

$v(\text{CF}_3\text{COOH}) = 8 - 3 = 5$  моль.

$v(\text{CH}_3\text{OH}) = 6 - 3 = 3$  моль.

$$\omega(\text{CF}_3\text{COOCH}_3) = 3 \cdot 128 / 1104 = 0,3478.$$

$$\omega(\text{H}_2\text{O}) = 3 \cdot 18 / 1104 = 0,0489.$$

$$\omega(\text{CF}_3\text{COOH}) = 5 \cdot 114 / 1104 = 0,5163.$$

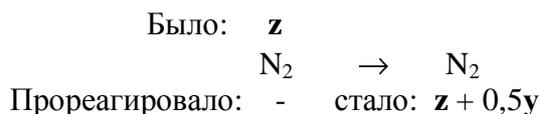
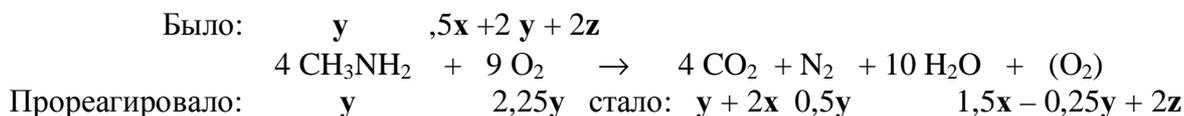
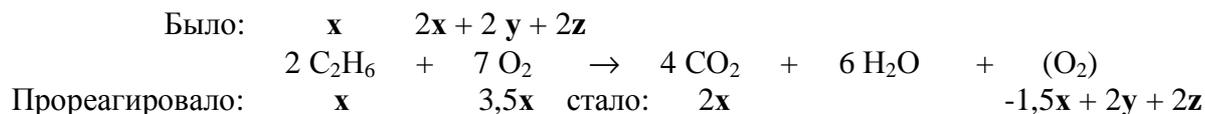
$$\omega(\text{CH}_3\text{OH}) = 3 \cdot 32 / 1104 = 0,0870.$$

**Ответ:** Исходная смесь:  $\omega(\text{CF}_3\text{COOH}) = 82,61 \%$ ;  $\omega(\text{CH}_3\text{OH}) = 17,39 \%$ . Равновесная смесь:  $\omega(\text{CF}_3\text{COOCH}_3) = 34,78 \%$ ;  $\omega(\text{H}_2\text{O}) = 4,89 \%$ ;  $\omega(\text{CF}_3\text{COOH}) = 51,63 \%$ ;  $\omega(\text{CH}_3\text{OH}) = 8,7 \%$ .

**Пример 119.** Смесь этана, метиламина и азота при нормальных условиях смешали с двойным объёмом кислорода и подожгли. После приведения к нормальным условиям была получена смесь трёх газов с равными объёмными долями. Определите массовые доли газов в исходной смеси.

Решение:

- 1) Равные объёмные доли трех газов в конечной газовой смеси означают, что равны и их количества вещества. Допустим, что эта смесь содержала по 1 моль каждого газа. Обозначим количества веществ этана, метиламина и азота через  $x$ ,  $y$  и  $z$  соответственно, тогда исходное количество кислорода составляло  $2x + 2y + 2z$  моль. Запишем уравнения соответствующих химических реакций и проставим количества реагирующих и образующихся веществ:



- 2) Составим систему уравнений, учитывая что в конечной смеси содержалось  $y + 2x$  моль  $\text{CO}_2$ ,  $z + 0,5y$  моль  $\text{N}_2$  и  $-1,5x - 0,25y + 2z$  моль  $\text{O}_2$ , и найдем  $x$ ,  $y$  и  $z$ :

$$\begin{array}{l} y + 2x = 1 \\ z + 0,5y = 1 \\ -1,5x - 0,25y + 2z = 1 \end{array} \left| \begin{array}{l} y = 1 - 2x \\ z = 1 - 0,5y \\ -1,5x - 0,25(1 - 2x) + 2z = 1 \end{array} \right. \left| \begin{array}{l} z = 1 - 0,5 + x \\ -x - 0,25 + 2(0,5 + x) = 1 \end{array} \right. \left| \begin{array}{l} x = 0,25 \\ y = 0,5 \\ z = 0,75 \end{array} \right.$$

- 3) Определяем массовые доли газов в исходной смеси:

$$m(\text{C}_2\text{H}_6) = 0,25 \cdot 30 = 7,5 \text{ г.}$$

$$m(\text{CH}_3\text{NH}_2) = 0,5 \cdot 31 = 15,5 \text{ г.}$$

$$m(\text{N}_2) = 0,75 \cdot 28 = 21 \text{ г.}$$

$$m(\text{смеси}) = 7,5 + 15,5 + 21 = 44 \text{ г.}$$

$$\omega(\text{C}_2\text{H}_6) = 7,5 / 44 = 0,1705.$$

$$\omega(\text{CH}_3\text{NH}_2) = 15,5 / 44 = 0,3522.$$

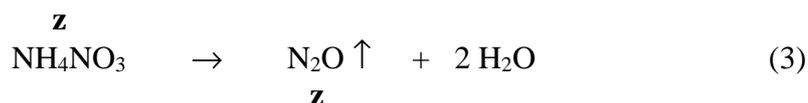
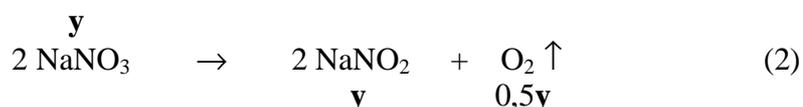
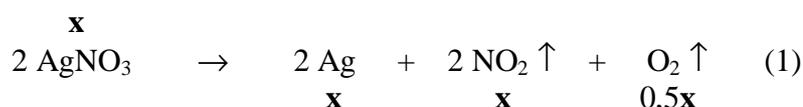
$$\omega(\text{N}_2) = 21 / 44 = 0,4773.$$

Ответ:  $\omega(\text{C}_2\text{H}_6) = 17,05\%$ ;  $\omega(\text{CH}_3\text{NH}_2) = 35,22\%$ ;  $\omega(\text{N}_2) = 47,73\%$ .

**Пример 120.** После прокаливания смеси нитрата серебра, нитрата натрия и нитрата аммония образовалась газовая смесь (н.у.) с плотностью по водороду 20,22, а масса твердого остатка оказалась в 2,03 раза меньше массы исходной смеси солей. Определите массовые доли веществ в исходной смеси.

Решение:

- 1) Пусть суммарное количество солей равно 1 моль. Обозначим количество вещества нитрата серебра через  $x$ , количество вещества нитрата натрия через  $y$  и количество вещества нитрата аммония через  $z$ .  $x + y + z = 1$ . Запишем уравнения химических реакций, указав количества образующихся веществ:



- 2) Составляем второе уравнение с использованием средней молярной массы газовой смеси и третье на соотношение между массой исходной смеси солей и массой твердого остатка:

$$\begin{aligned} M_{\text{ср.}}(\text{газовой смеси}) &= 20,22 \cdot 2 = 40,44 \text{ г/моль.} \\ x \cdot 46 + (0,5x + 0,5y) \cdot 32 + z \cdot 44 &= 40,44(1,5x + 0,5y + z); \\ 62x + 16y + 44z &= 60,66x + 20,22y + 40,44z; \\ 1,34x - 4,22y + 3,56z &= 0. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 170x + 85y + 80z &= 2,03(108x + 69y); \\ 49,24x + 55,07y - 80z &= 0. \end{aligned}$$

- 3) Составляем систему уравнений и находим неизвестные:

$$\begin{array}{l} x + y + z = 1 \quad \cdot 3,56 \\ 1,34x - 4,22y + 3,56z = 0 \\ 49,24x + 55,07y - 80z = 0 \end{array} \left| \begin{array}{l} 3,56x + 3,56y + 3,56z = 3,56 \\ 1,34x - 4,22y + 3,56z = 0 \\ 49,24x + 55,07y - 80z = 0 \end{array} \right. \left| \begin{array}{l} 2,22x + 7,78y = 3,56 \\ 1,34x - 4,22y + 3,56z = 0 \cdot 80 / 3,56 \\ 49,24x + 55,07y - 80z = 0 \end{array} \right.$$

$$\begin{array}{l} 2,22x + 7,78y = 3,56 \\ 30,11x - 94,83y + 80z = 0 \\ 49,24x + 55,07y - 80z = 0 \end{array} \left| \begin{array}{l} 2,22x + 7,78y = 3,56 \\ 79,35x - 39,76y = 0 \\ y = 2x \end{array} \right. \left| \begin{array}{l} 17,78x = 3,56 \\ x = 0,2 \\ y = 0,4 \end{array} \right. \quad z = 1 - 0,2 - 0,4 = 0,4$$

- 4) Находим массовые доли солей в исходной смеси:

$$\begin{aligned} m(\text{AgNO}_3) &= 170 \cdot 0,2 = 34 \text{ г.} \\ m(\text{NaNO}_3) &= 85 \cdot 0,4 = 34 \text{ г.} \\ m(\text{NH}_4\text{NO}_3) &= 0,4 \cdot 80 = 32 \text{ г.} \end{aligned}$$

$$m(\text{смеси}) = 34 + 34 + 32 = 100 \text{ г.}$$

$$\omega(\text{AgNO}_3) = \omega(\text{NaNO}_3) = 34 / 100 = 0,34;$$

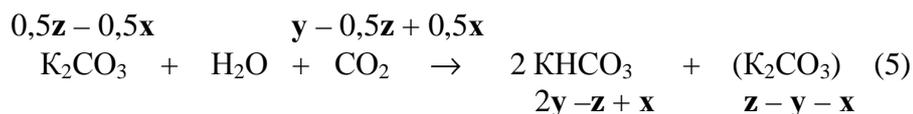
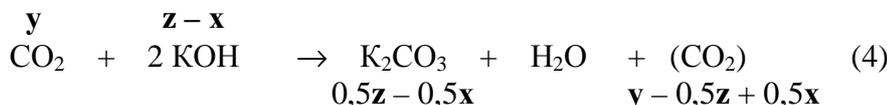
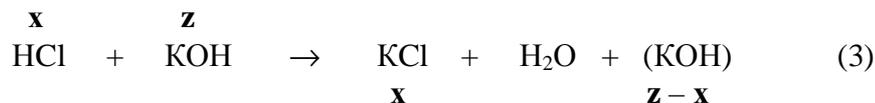
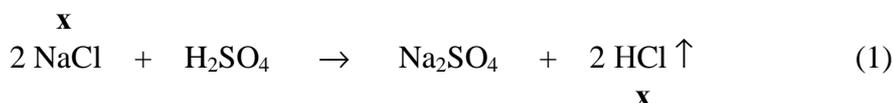
$$\omega(\text{NH}_4\text{NO}_3) = 32 / 100 = 0,32.$$

Ответ:  $\omega(\text{AgNO}_3) = \omega(\text{NaNO}_3) = 34 \%$ ;  $\omega(\text{NH}_4\text{NO}_3) = 32 \%$ .

**Пример 121.** Газы, полученные нагреванием смеси хлорида натрия и карбоната кальция с избытком концентрированной серной кислоты, растворили в некотором количестве раствора гидроксида калия, в результате чего был получен раствор, содержащий три соли с равными массовыми долями. Определите массовые доли веществ в исходной смеси солей.

Решение:

- 1) Пусть имелся 1 моль смеси солей. Обозначим за  $x$  количество вещества  $\text{NaCl}$ , за  $y$  количество вещества  $\text{CaCO}_3$  и за  $z$  количество вещества  $\text{KOH}$ . Запишем уравнения химических реакций с учетом того, что в конечном растворе присутствуют три соли:



- 2) Если массовые доли трех солей в одном растворе равны между собой, то равны и их массы. Составляем систему уравнений и находим неизвестные:

$$m(\text{KCl}) = m(\text{K}_2\text{CO}_3). \quad 74,5x = (z - y - x) \cdot 138. \quad 138z - 138y - 63,5x = 0$$

$$m(\text{KCl}) = m(\text{KHCO}_3). \quad 74,5x = (2y - z + x) \cdot 100. \quad 200y + 25,5x - 100z = 0$$

$$\begin{array}{l|l|l} x + y = 1 & x + y = 1 & x + y = 1 \\ 138z - 138y - 63,5x = 0 & 138z - 138y - 63,5x = 0 & 28,31x = 138y \\ 200y + 25,5x - 100z = 0 & 138 / 100 \cdot 276y + 35,19x - 138z = 0 & x = 4,875y \end{array} \quad \left| \begin{array}{l} 5,875y = 1 \\ y = 0,17 \\ x = 0,83 \end{array} \right.$$

- 3) Рассчитываем массовые доли солей в исходной смеси:

$$m(\text{NaCl}) = 0,83 \cdot 58,5 = 48,56 \text{ г.}$$

$$m(\text{CaCO}_3) = 0,17 \cdot 100 = 17 \text{ г.}$$

$$m(\text{смеси}) = 48,56 + 17 = 65,56 \text{ г.}$$

$$\omega(\text{NaCl}) = 48,56 / 65,56 = 0,7407.$$

$$\omega(\text{CaCO}_3) = 17 / 65,56 = 0,2593.$$

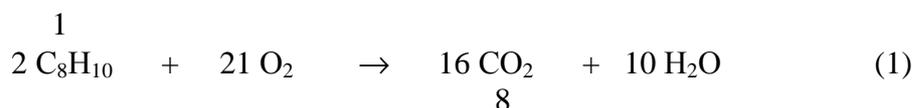
Ответ:  $\omega(\text{NaCl}) = 74,07 \%$ ;  $\omega(\text{CaCO}_3) = 25,93 \%$ .

**Пример 122.** Определите массовую долю этилбензола в смеси с его изомерами, если известно, что минимальный объем раствора гидроксида калия, необходимый для поглощения углекислого газа, полученного в результате ее сжигания, в пять раз больше объема такого же раствора щелочи, требующегося для нейтрализации органических продуктов окисления такого же количества исходной смеси избытком перманганата калия.

Решение:

- 1) Пусть суммарное количество вещества в исходной смеси органических веществ равно 1 моль. Количество вещества этилбензола примем за  $x$  и общее количество вещества диметилбензолов за  $y$ . Запишем уравнения соответствующих химических реакций:

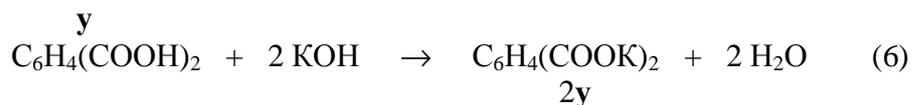
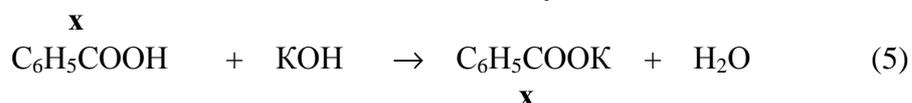
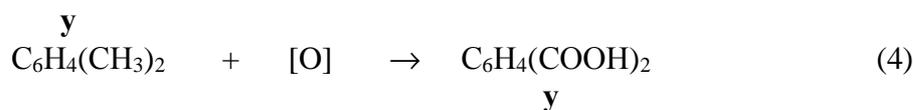
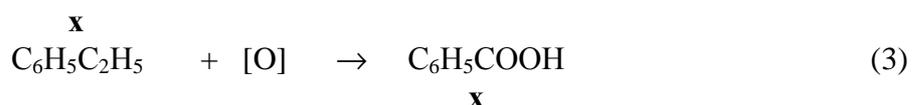
Поскольку молекулярная формула этилбензола и его изомеров одинакова, реакцию горения можно записать в одно уравнение:



При взаимодействии углекислого газа с минимальным количеством щелочи образуется кислая соль:



При окислении этилбензола перманганатом образуется одноосновная кислота, а при окислении его гомологов — двухосновная:



- 2) Если объем раствора щелочи в реакции (2) в пять раз больше, чем в реакциях (5) и (6), то и количество вещества щелочи в первом случае в 5 раз больше, чем во втором:

$$(x + 2y) \cdot 5 = 8. \quad 5x + 10y = 8.$$

$$\begin{array}{l|l|l} x + y = 1 & \cdot 10 & \\ 5x + 10y = 8 & & \end{array} \left| \begin{array}{l} 10x + 10y = 10 \\ 5x + 10y = 8 \end{array} \right| \begin{array}{l} 5x = 2 \\ x = 0,4 \end{array} \left| \begin{array}{l} y = 0,6 \end{array} \right.$$

- 3) Так как молярные массы всех исходных веществ одинаковы, массовые доли для них равны молярным долям:

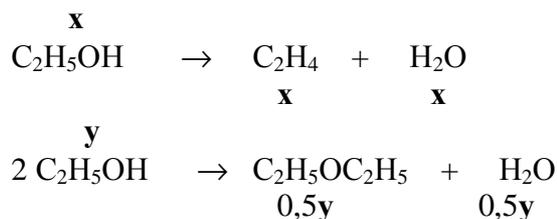
$$\omega(\text{C}_6\text{H}_5\text{C}_2\text{H}_5) = 0,4. \quad \omega(\text{C}_6\text{H}_4(\text{CH}_3)_2) = 0,6$$

Ответ:  $\omega(\text{C}_6\text{H}_5\text{C}_2\text{H}_5) = 40 \%$ ;  $\omega(\text{C}_6\text{H}_4(\text{CH}_3)_2) = 60 \%$ .

**Пример 123.** Пары этилового спирта пропустили через нагретую до  $130^\circ\text{C}$  концентрированную серную кислоту, при этом получили газо-паровую смесь с плотностью по водороду 16,43. Определите выход каждого из двух полученных органических продуктов в расчете на взятый этанол, если известно, что он прореагировал на 90 %. Растворимостью веществ в серной кислоте пренебречь.

Решение:

- 1) Пусть количество вещества этилового спирта было 1 моль. Обозначим за  $x$  количество вещества спирта, превратившегося в этилен и за  $y$  — количество вещества спирта, превратившегося в простой эфир. Запишем уравнения химических реакций:



- 2) В реакции вступило 0,9 моль спирта и образовавшаяся газо-паровая смесь содержала 0,1 моль оставшегося спирта,  $x$  моль этилена,  $0,5y$  моль диэтилового эфира и  $x + 0,5y$  моль воды. Составляем систему уравнений и находим неизвестные:

$$M_{\text{ср.}}(\text{газовой смеси}) = 16,43 \cdot 2 = 32,86 \text{ г/моль.}$$

Суммарное количество веществ в газопаровой смеси =  $2x + y + 0,1$  моль. Поскольку масса газо-паровой смеси равна массе исходного спирта,  $32,86 \cdot (2x + y + 0,1) = 46$ .  
 $2x + y + 0,1 = 46 / 32,86 = 1,4$ .  $2x + y = 1,3$ .

$$\begin{array}{l|l} x + y = 0,9 & \\ 2x + y = 1,3 & \end{array} \left| \begin{array}{l} x = 0,4 \\ y = 0,5 \end{array} \right.$$

- 3) Определяем выхода этилена и простого эфира:

$$\eta(\text{C}_2\text{H}_4) = 0,4 / 1 = 0,4. \quad \eta(\text{C}_2\text{H}_5\text{OC}_2\text{H}_5) = 0,5 / 1 = 0,5.$$

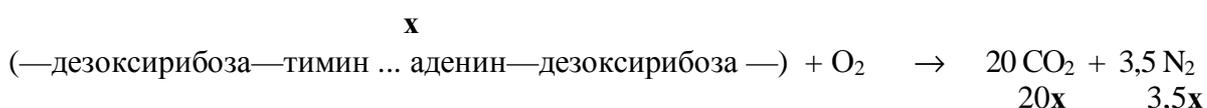
Ответ:  $\eta(\text{C}_2\text{H}_4) = 40 \%$ ;  $\eta(\text{C}_2\text{H}_5\text{OC}_2\text{H}_5) = 50 \%$ .

**Пример 124.** Образец двухцепочечной ДНК сожгли в избытке кислорода и получили газовую смесь, содержащую по объему 46,97 % оксида углерода (IV) и 9,125 % азота. Определите соотношение числа остатков аденина и гуанина, входящих в состав этой

ДНК, если известно, что обе цепи имеют одинаковую длину и все азотистые основания строго комплементарны.

Решение:

- 1) В молекуле ДНК тимин комплементарен аденину, а цитозин - гуанину, следовательно число фрагментов тимина ( $C_5H_6N_2O_2$ ) равно числу фрагментов аденина ( $C_5H_5N_5$ ), а число фрагментов цитозина ( $C_4H_6N_3O$ ) - числу фрагментов гуанина ( $C_5H_5N_5O$ ). Пусть количество вещества фрагментов аденина в сожженном веществе равно  $x$  моль, а число фрагментов гуанина -  $y$  моль. На одну комплементарную пару приходится два остатка дезоксирибозы ( $C_5H_{10}O_4$ ) (по одному в каждой цепи). Один комплементарный фрагмент с аденином содержит 20 атомов углерода и 7 атомов азота, а один комплементарный фрагмент с гуанином - 19 атомов углерода и 8 атомов азота. Напишем уравнения реакций, соответствующие горению каждого комплементарному фрагменту:



- 2) Пусть количество вещества полученной газовой смеси равно 100 мкмоль, тогда  $v(CO_2) = 46,97$  мкмоль, а  $v(N_2) = 9,125$  мкмоль. Составим систему уравнений и решим ее:

$$\begin{array}{l} 20x + 19y = 46,95 \\ 3,5x + 4y = 9,125 \end{array} \left| \begin{array}{l} :4 \\ :19 \end{array} \right. \begin{array}{l} 20x + 19y = 46,97 \\ 16,625x + 19y = 43,34 \end{array} \left| \begin{array}{l} - \\ + \end{array} \right. \begin{array}{l} 3,375x = 3,63 \\ x = 1,08 \end{array} \left| \begin{array}{l} :4 \\ :19 \end{array} \right. \begin{array}{l} 4y = 9,125 - 3,764 = 5,36 \\ y = 1,34 \end{array}$$

$$x : y = 1,08 : 1,34 = 1 : 1,2$$

Ответ: N(аденина) : N(гуанина) = 1 : 1,2.

### Задачи для самостоятельного решения

179. На полное гидрирование смеси метана, ацетилен и пропена расходуется равный ей объем водорода, а для ее сжигания необходим объем кислорода, превышающий объем исходной смеси в 2,7 раза. Определите плотность исходной смеси по водороду.
180. Избыток сплава бария с кальцием обработали некоторым количеством соляной кислоты с плотностью 1,15 г/мл, при этом выделился газ, объем которого при н.у. в 607 раз больше объема использованной кислоты. Определите массовую долю хлороводорода в использованной соляной кислоте.
181. В результате пропускания паров пропилового спирта через нагретую до высокой температуры концентрированную серную кислоту образовалась газо-паровая смесь, имеющая плотность по водороду 20. Рассчитайте выход каждого из двух образовавшихся органических веществ в расчете на исходный пропанол, если известно, что он прореагировал только на 80%. (Растворимостью веществ в серной кислоте пренебречь).

182. Газы, полученные при прокаливании смеси нитрата серебра и карбоната магния пропустили через избыток воды, при этом объем газов уменьшился в два раза. Определите массовые доли солей в исходной смеси. Растворимостью оксида углерода (IV) в воде пренебречь.
183. Газовую смесь, полученную термическим разложением нитрата ртути, нагревали при  $700\text{ }^{\circ}\text{C}$  до установления химического равновесия. Плотность равновесной смеси по водороду оказалась равной 17,222. Определите массовые доли веществ в равновесной газовой смеси, если известно, что реакция образования оксида азота (IV) из оксида азота (II) и кислорода обратима.
184. На нейтрализацию смеси ароматических кислот, полученной окислением смеси этилбензола с его изомерами требуется объем раствора гидроксида натрия в пять раз меньший, чем минимальный объем такого же раствора, необходимый для поглощения всего оксида углерода (IV), полученного при сжигании такого же количества смеси изомеров, Определите массовую долю этилбензола в исходной смеси.
185. Образец двухцепочечной ДНК сожгли в избытке кислорода и получили газовую смесь, содержащую по объему 33 % оксида углерода (IV) и 6,45 % азота. Определите соотношение числа остатков тимина и цитозина, входящих в состав этой ДНК, если известно, что обе цепи имеют одинаковую длину и все азотистые основания строго комплементарны.

## 2.6. Метод подбора

Существуют задачи, которые окончательно можно решить только используя метод подбора. Подбираемым параметром может быть величина, имеющая дискретные значения и число этих возможных значений должно быть невелико. Чаще всего это бывает степень окисления элемента, его валентность или число атомов элемента в молекуле.

**Пример 125.** Элементы А и Б образуют соединение, содержащее 64 % (по массе) элемента Б. При гидролизе этого вещества выделяется газ, содержащий элемент Б и 5,88 % (по массе) водорода. Определите формулу вещества, содержащего элементы А и Б, напишите реакцию его гидролиза.

Решение:

- 1) Определяем элемент Б:

Простейшая формула водородного соединения  $\text{BH}_x$ .

$$M(\text{BH}_x) = x / 0,0588 = 17x.$$

$$M(\text{B}) = 17x - x = 16x.$$

$x$  может принимать только небольшие целые значения – 1, 2, 3 или 4.

Если  $x = 1$ , то  $M(\text{B}) = 16$  г/моль — это кислород. Газообразного соединения с простейшей формулой  $\text{OH}$  не существует ( $\text{H}_2\text{O}_2$  — жидкость).

Если  $x = 2$ , то  $M(\text{B}) = 32$  — это сера.  $\text{H}_2\text{S}$  — газ.

Если  $x = 3$ , то  $M(\text{B}) = 48$  — это титан. Газообразного соединения  $\text{TiH}_3$  не существует.

Если  $x = 4$ , то  $M(\text{B}) = 64$  — это медь. Медь не образует газообразных гидридов.

- 2) Определяем элемент А:

Простейшая формула сульфида  $A_yS_z$ .

$$M(A_yS_z) = 32z / 0,64 = 50z.$$

$$M(A) = (50z - 32z) / y = 18z / y.$$

В зависимости от степени окисления элемента А у может принимать значения 1 или 2, а z от 1 до 5.

Соединение  $A_2S$ :  $M(A) = 18 / 2 = 9$  — это бериллий, но бериллий не проявляет степень окисления +1.

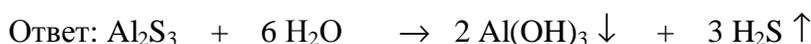
Соединение  $AS$ :  $M(A) = 18$  — элемент не существует.

Соединение  $A_2S_3$ :  $M(A) = 18 \cdot 3 / 2 = 27$  г/моль — это алюминий. Соединение  $Al_2S_3$ .

Соединение  $AS_2$ :  $M(A) = 18 \cdot 2 = 36$  — элемент не существует.

Соединение  $A_2S_5$ :  $M(A) = 18 \cdot 5 / 2 = 45$  — элемент скандий. Это элемент третьей группы высшая положительная степень окисления +3.

3) Записываем уравнение реакции гидролиза:



**Пример 126.** Газы, образовавшиеся при прокаливании 43,9 г смеси нитрата некоторого металла с двойным молярным количеством его карбоната, в которой массовая доля металла как элемента составляет 44,42 %, пропустили в раствор гидроксида натрия с массовой долей щелочи 20 %. Определите металл и рассчитайте массовые доли солей в полученном растворе, учитывая, что масса этого раствора стала 118 г. (Кислород в данном случае не проявляет окислительных свойств.)

Решение:

1) Формулы солей зависят от степени окисления металла, которая может быть равна 1, 2 или 3. Рассчитаем массу металла и массу кислотных остатков. Учитывая молярное соотношение солей [если  $v(\text{нитрата}) = x$ , то  $v(\text{карбоната}) = 2x$ ], методом подбора определим металл:

$$m(\text{Me}) = 43,9 \cdot 0,4442 = 19,5 \text{ г. } m(\text{кислотных остатков}) = 43,9 - 19,5 = 24,4 \text{ г.}$$

а) степень окисления металла +1:  $2x$  моль  $Me_2CO_3$  и  $x$  моль  $MeNO_3$ .

$$m(\text{кислотных остатков}) = 60 \cdot 2x + 62x = 182x = 24,4. \quad x = 24,4 / 182 = 0,134 \text{ моль.}$$

$v(\text{Me}) = 5x = 0,134 \cdot 5 = 0,67$  моль.  $M(\text{Me}) = 19,5 / 0,67 = 29,1$  г/моль — такого металла нет.

б) степень окисления металла +2:  $2x$  моль  $MeCO_3$  и  $x$  моль  $Me(NO_3)_2$

$$m(\text{кислотных остатков}) = 60 \cdot 2x + 62 \cdot 2x = 244x = 24,4. \quad x = 0,1 \text{ моль.}$$

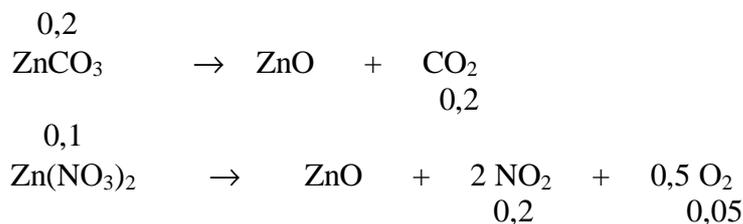
$$v(\text{Me}) = 3x = 0,1 \cdot 3 = 0,3 \text{ моль. } M(\text{Me}) = 19,5 / 0,3 = 65 \text{ г/моль — это цинк.}$$

в) степень окисления металла +3:  $2x$  моль  $Me_2(CO_3)_3$  и  $x$  моль  $Me(NO_3)_3$

$$m(\text{кислотных остатков}) = 60 \cdot 6x + 62 \cdot 3x = 546x = 24,4. \quad x = 0,04469 \text{ моль.}$$

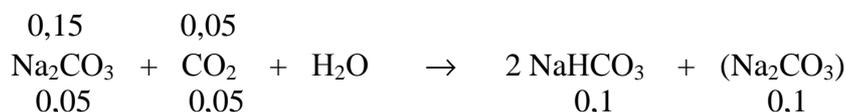
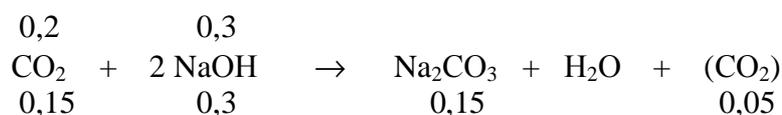
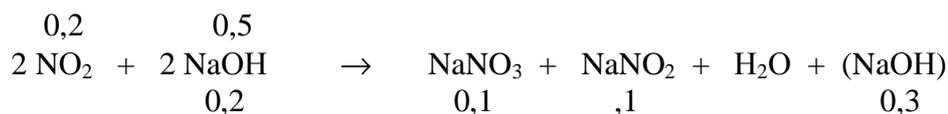
$\nu(\text{Me}) = 5x = 0,04469 \cdot 5 = 0,223$  моль.  $M(\text{Me}) = 19,5 / 0,223 = 87,5$  г/моль — это стронций, но он не проявляет степень окисления +3.

- 2) Запишем уравнения реакций разложения карбоната и нитрата цинка, обозначив количество образующихся газов:



- 3) Газы, образующиеся при прокаливании этой смеси —  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$  и  $\text{NO}_2$ . С щелочью реагируют  $\text{CO}_2$  и  $\text{NO}_2$ . Рассчитаем количество вещества щелочи и запишем уравнения реакций газов со щелочью:

$$\begin{aligned} m(\text{газов}) &= 0,2 \cdot 44 + 0,2 \cdot 46 = 18 \text{ г.} \\ m(\text{раствора NaOH}) &= 118 - 18 = 100 \text{ г.} \\ \nu(\text{NaOH}) &= 100 \cdot 0,2 / 40 = 0,5 \text{ моль.} \end{aligned}$$



- 4) Рассчитываем массовые доли солей в конечном растворе:

$$\begin{aligned} \omega(\text{NaHCO}_3) &= 0,1 \cdot 84 / 118 = 0,0712. \\ \omega(\text{Na}_2\text{CO}_3) &= 0,1 \cdot 106 / 118 = 0,0898. \\ \omega(\text{NaNO}_3) &= 0,1 \cdot 85 / 118 = 0,072. \\ \omega(\text{NaNO}_2) &= 0,1 \cdot 69 / 118 = 0,0585. \end{aligned}$$

Ответ:  $\omega(\text{NaHCO}_3) = 7,12 \%$ ;  $\omega(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 8,98 \%$ ;  $\omega(\text{NaNO}_3) = 7,2 \%$ ;  $\omega(\text{NaNO}_2) = 5,85 \%$ .

**Пример 127.** В результате растворения неизвестного металла в разбавленной азотной кислоте образовалось 195 мл раствора с плотностью 1,026 г/мл, содержащего две соли с массовыми долями 2,84 % и 0,4 %. Определите массу растворенного металла, учитывая, что процесс идет на 100% по одному уравнению реакции.

Решение:

- 1) Единственная реакция азотной кислоты с металлом, в которой образуются сразу две соли — это восстановление азотной кислоты до нитрата аммония. Поскольку



188. Образец неизвестного металла массой 23 г растворили в 900 мл раствора азотной кислоты с массовой долей кислоты 7,5 % и плотностью 1,05 г/мл, в результате чего получили раствор, содержащий две соли с массовыми долями 6,219 и 0,6198 %. Определите металл и молярные концентрации веществ в конечном растворе, если известно, что плотность раствора не изменилась, а процесс идет на 100% по одному уравнению реакции.

## 2.7. Многовариантные задачи

Это задачи, для получения ответа на которые нужно перебрать несколько вариантов решения, задаваясь, например, в каждом варианте иным соотношением реагентов. Такие задачи встречаются довольно редко, и в них, как и в задачах, решаемых методом подбора иногда возможно несколько правильных решений.

**Пример 128.** 71,5 г кристаллической соды растворили в 80 мл воды и полученный раствор медленно обработали раствором соляной кислоты с массовой долей хлороводорода 36,5 %. Определите массовые доли веществ в полученном растворе, если известно, что массовая доля ионов натрия в нем составила 6,22 %.

Решение:

- 1) Рассчитываем количество вещества карбоната натрия, определяем массу ионов натрия в конечном растворе и находим массу конечного раствора:

$$v(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}) = 71,5 / 286 = 0,25 \text{ моль.}$$

$$m(\text{Na}^+) = 0,25 \cdot 2 \cdot 23 = 11,5 \text{ г.}$$

$$m(\text{конечного раствора}) = 11,5 / 0,0622 = 184,9 \text{ г.}$$

- 2) Записываем уравнения возможных химических реакций, учитывая, что сначала в избытке находится карбонат, и процесс проходит через образование кислой соли:



Поскольку из условий задачи не ясно соотношение реагирующих веществ, можно только предполагать, насколько глубоко прошел процесс. Можно представить себе три возможных случая: а) реакция (1) не прошла до конца, б) реакция (1) прошла до конца и реакция (2) прошла не до конца и в) обе реакции прошли до конца.

Рассмотрим случай а). Здесь не происходит выделения газа, поэтому масса конечного раствора равна сумме масс кристаллической соды, воды и раствора кислоты:

$$184,9 = 71,5 + 80 + m(\text{раствора HCl});$$

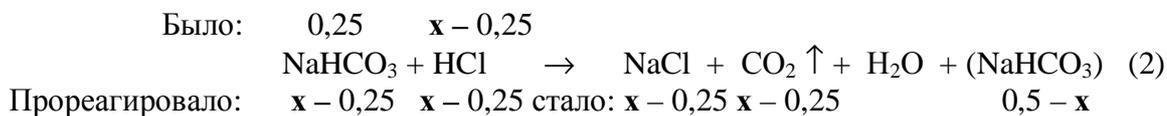
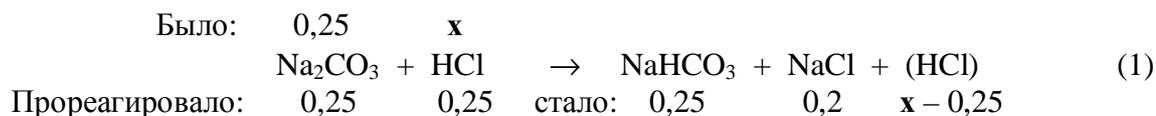
$$m(\text{раствора HCl}) = 184,9 - 71,5 - 80 = 33,4 \text{ г.}$$

$$v(\text{HCl}) = 33,4 \cdot 0,365 / 36,5 = 0,334 \text{ моль.}$$

Рассчитанное количество вещества HCl больше, чем  $v(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{H}_2\text{O})$ , что противоречит первому предположению.

Случай б). Происходит выделение газа, поэтому масса конечного раствора равна сумме тех же масс за вычетом массы углекислого газа. Обозначим за  $x$  количество вещества

исходного HCl, тогда масса раствора HCl будет равна  $x \cdot 36,5 / 0,365 = 100x$ . Запишем уравнения реакций с учетом прореагировавших и образовавшихся веществ, выразим массу раствора HCl, исходя из массы конечного раствора, и приравняем ее  $100x$ :



$$\begin{aligned} 184,9 &= 71,5 + 80 + m(\text{раствора HCl}) - (x - 0,25) \cdot 44; \\ m(\text{раствора HCl}) &= 184,9 - 71,5 - 80 + (x - 0,25) \cdot 44 = 22,4 + 44x. \\ 100x &= 22,4 + 44x; 56x = 22,4; x = 22,4 / 56 = 0,4. \end{aligned}$$

Полученное значение количества HCl удовлетворяет второму предположению.

3) Определяем массовые доли веществ в конечном растворе:

$$\begin{aligned} \nu(\text{NaCl}) &= 0,25 + x - 0,25 = x = 0,4 \text{ моль.} \\ \omega(\text{NaCl}) &= 0,4 \cdot 58,5 / 184,9 = 0,1266. \\ \nu(\text{NaHCO}_3) &= 0,5 - 0,4 = 0,1 \text{ моль.} \\ \omega(\text{NaHCO}_3) &= 0,1 \cdot 84 / 184,9 = 0,0454. \end{aligned}$$

4) Проверим третье предположение. Если обе реакции прошли до конца, то количество вещества выделившегося углекислого газа равно количеству вещества кристаллической соды:

$$\begin{aligned} m(\text{раствора HCl}) &= 184,9 - 71,5 - 80 + 0,25 \cdot 44 = 44,4 \text{ г.} \\ \nu(\text{HCl}) &= 44,4 \cdot 0,365 / 36,5 = 0,444 \text{ моль.} \end{aligned}$$

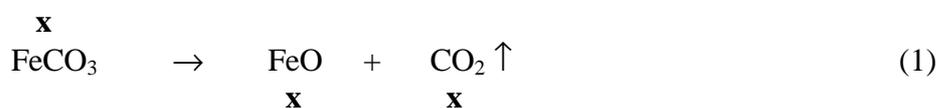
Такого количества хлороводорода не хватит на то, чтобы обе реакции прошли до конца, поэтому третье предположение неверно.

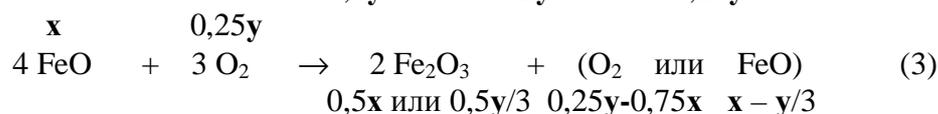
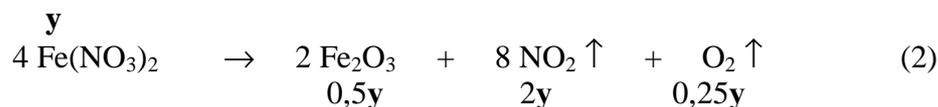
Ответ:  $\omega(\text{NaCl}) = 12,66 \%$ ;  $\omega(\text{NaHCO}_3) = 4,54 \%$ .

**Пример 129.** В сосуд емкостью 2,8 л, заполненный азотом при н.у. поместили 83 г смеси карбоната железа (II) и нитрата железа (II). Сосуд закрыли и нагрели до высокой температуры. После охлаждения и приведения к нормальным условиям масса твердого остатка составила 42,8 г. Определите массовые доли солей в исходной смеси и объемные доли газов в конечной газовой смеси.

Решение:

1) Обозначим количество вещества карбоната железа за  $x$  и количество вещества нитрата железа за  $y$  и запишем уравнения происходящих химических реакций:





Из условия задачи невозможно сразу определить, какой из двух реагентов в реакции (3) был в избытке, а какой в недостатке, поэтому необходимо проверить оба варианта.

- 2) Предположим, что кислород в реакции (3) оказался в избытке, тогда твердый остаток полностью состоял из  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , и его количество равнялось  $0,5x + 0,5y$ . Составим систему уравнений и найдем  $x$  и  $y$ :

$$\begin{array}{l}
 116x + 180y = 83 \\
 0,5x + 0,5y = 42,8 / 160 = 0,2675 \\
 x = 0,535 - 0,327 = 0,208
 \end{array}
 \left| \cdot 232 \right.
 \begin{array}{l}
 116x + 180y = 83 \\
 116x + 116y = 62,06
 \end{array}
 \left| \begin{array}{l}
 64y = 20,94 \\
 y = 0,327
 \end{array} \right.$$

Проверим, правильны ли полученные результаты.  $x / 4 = 0,208 / 4 = 0,052$ ;  $0,25y / 3 = 0,25 \cdot 0,327 / 3 = 0,02725$ .

$0,052 > 0,02725$ , следовательно, кислород находится в недостатке и твердый остаток не может состоять только из  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

- 3) Если кислород в недостатке, то твердый остаток состоит из  $0,5y + 0,5y/3$  моль  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и  $x - y/3$  моль  $\text{FeO}$ . Составляем другую систему уравнений и находим неизвестные:

$$\begin{array}{l}
 116x + 180y = 83 \\
 (0,5y + 0,5y/3) \cdot 160 + (x - y/3) \cdot 72 = 42,8
 \end{array}
 \left| \begin{array}{l}
 116x + 180y = 83 \\
 72x + 82,7y = 42,8
 \end{array} \right| \cdot 72/116
 \begin{array}{l}
 72x + 111,7y = 51,52 \\
 72x + 82,7y = 42,8
 \end{array}$$

$$29y = 8,72 \quad y = 0,3 \quad x = (83 - 0,3 \cdot 180) / 116 = 0,25.$$

- 4) Рассчитываем массовые доли солей и объемные доли газов:

$$m(\text{FeCO}_3) = 116 \cdot 0,25 = 29 \text{ г.}$$

$$\omega(\text{FeCO}_3) = 29 / 83 = 0,3494.$$

$$\omega[\text{Fe(NO}_3)_2] = 1 - 0,3494 = 0,6506.$$

$$v(\text{CO}_2) = 0,25 \text{ моль;}$$

$$v(\text{NO}_2) = 0,3 \cdot 2 = 0,6 \text{ моль;}$$

$$v(\text{N}_2) = 2,8 / 22,4 = 0,125 \text{ моль.}$$

$$v(\text{газовой смеси}) = 0,25 + 0,6 + 0,125 = 0,975 \text{ моль.}$$

$$\varphi(\text{CO}_2) = 0,25 / 0,975 = 0,2564;$$

$$\varphi(\text{NO}_2) = 0,6 / 0,975 = 0,6154;$$

$$\varphi(\text{N}_2) = 0,125 / 0,975 = 0,1282.$$

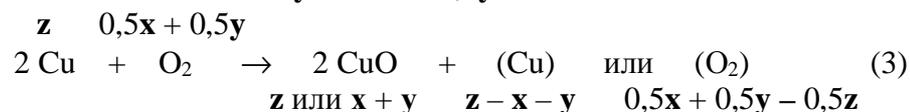
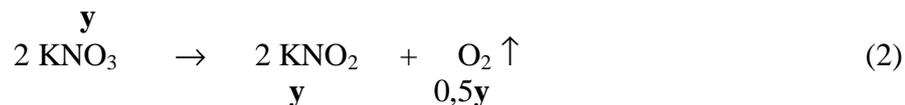
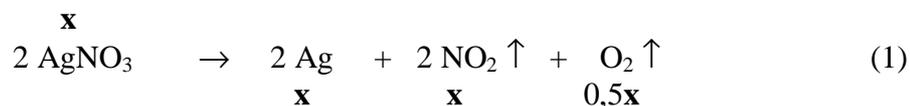
**Ответ:**  $\omega(\text{FeCO}_3) = 34,94 \%$ ;  $\omega[\text{Fe(NO}_3)_2] = 65,06 \%$ .  $\varphi(\text{CO}_2) = 25,64 \%$ ;  $\varphi(\text{NO}_2) = 61,54 \%$ ;  $\varphi(\text{N}_2) = 12,82\%$ .

**Пример 130.** 43,6 г смеси нитрата серебра, нитрата калия и меди нагревали в закрытом сосуде, заполненном азотом, до окончания химических реакций. После этого масса

твердого вещества составила 35,8 г, а объем выделившегося газа 4,48 л (н.у.). Определите массовые доли веществ в исходной смеси.

Решение:

- 1) Обозначим за  $x$ ,  $y$  и  $z$  количества веществ нитрата серебра, нитрата калия и меди соответственно. Запишем уравнения протекающих химических реакций:



Условия задачи не позволяют сразу определить, какой из реагентов в реакции (3) находится в избытке, а какой в недостатке, поэтому необходимо просчитать оба варианта.

- 2) Предположим, что медь была в избытке, тогда кислород был поглощен полностью и оставшийся газ —  $\text{NO}_2$ , а твердый остаток содержит серебро, нитрит калия, медь и оксид меди.

$$v(\text{NO}_2) = 4,48 / 22,4 = 0,2 \text{ моль } (x = 0,2).$$

$$m(\text{NO}_2) = 0,2 \cdot 44 = 8,8 \text{ г.}$$

В этом случае масса твердого остатка должна быть равна разнице между массой исходной смеси и массой  $\text{NO}_2$ .  $43,8 - 8,8 = 34,8$  г. Это противоречит условию задачи, поэтому необходимо перейти ко второму варианту.

- 3) Если в избытке в реакции (3) был кислород, то оставшийся газ был смесью  $\text{NO}_2$  и  $\text{O}_2$ , а твердый остаток содержит серебро, нитрит калия и оксид меди:

$$\begin{array}{l|l|l} x + 0,5x + 0,5y - 0,5z = 0,2 & \cdot 128 & 192x + 64y - 64z = 25,6 \\ 170x + 101y + 64z = 43,6 & & 170x + 101y + 64z = 43,6 \\ 108x + 85y + 80z = 35,8 & \cdot 64 / 80 & 86,4x + 68y + 64z = 28,64 \end{array} \quad \left| \begin{array}{l} 362x + 165y = 69,2 \\ 83,4x + 33y = 14,96 \end{array} \right.$$

$$\begin{array}{l|l|l} 362x + 165y = 69,2 & \cdot 33 / 165 & 72,4x + 33y = 13,84 \\ 83,6x + 33y = 14,96 & & 83,6x + 33y = 14,96 \end{array} \quad \left| \begin{array}{l} 11,2x = 1,12 \\ x = 0,1 \end{array} \right.$$

$$y = (13,84 - 0,1 \cdot 72,4) / 33 = 0,2. \quad z = (1,5 \cdot 0,1 + 0,1 - 0,2) / 0,5 = 0,1.$$

- 4) Определяем массовые доли веществ в исходной смеси:

$$m(\text{AgNO}_3) = 170 \cdot 0,1 = 17 \text{ г.}$$

$$m(\text{KNO}_3) = 101 \cdot 0,2 = 20,2 \text{ г.}$$

$$m(\text{Cu}) = 64 \cdot 0,1 = 6,4 \text{ г.}$$

$$\omega_{\text{AgNO}_3} = 17 / 43,6 = 0,3899.$$

$$\omega_{\text{KNO}_3} = 20,2 / 43,6 = 0,4633.$$

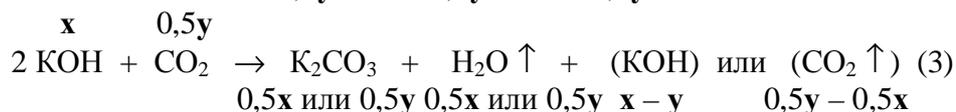
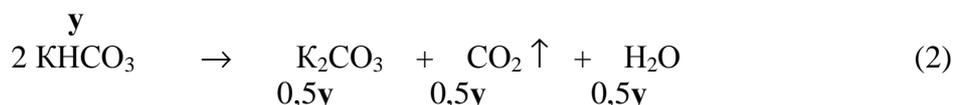
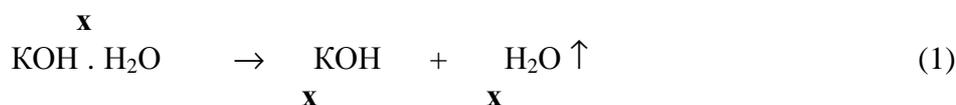
$$\omega(\text{Cu}) = 6,4 / 43,6 = 0,1468.$$

Ответ:  $\omega(\text{AgNO}_3) = 38,99 \%$ ;  $\omega(\text{KNO}_3) = 46,33 \%$ ;  $\omega(\text{Cu}) = 14,68 \%$ .

**Пример 131.** 27,4 г свежеприготовленной смеси моногидрата гидроксида калия и гидрокарбоната калия нагревали в закрытом сосуде при  $300^\circ\text{C}$ , затем его открыли. Масса сухого вещества после этих операций уменьшилась на 6,7 г. Определите состав (в массовых долях) раствора, образующегося при растворении тех же количеств исходных веществ в 72,6 мл воды.

Решение:

- 1) Обозначим количество вещества гидроксида калия за  $x$  и количество вещества гидрокарбоната калия за  $y$ . Запишем уравнения реакций, происходящих при нагревании:



Если в реакции (3) в избытке была щелочь, то изменение массы твердого вещества связано только с потерей воды, если же в избытке был  $\text{CO}_2$ , то 6,7 г включают в себя и воду и оставшийся  $\text{CO}_2$ .

- 2) Допустим, что щелочь в избытке, составим систему уравнений и найдем  $x$  и  $y$ :

$$\begin{array}{l|l|l} 74x + 100y = 27,4 & 74x + 100y = 27,4 & 26x = 9,8 \\ x + y = 6,7 / 18 & \cdot 100 & 100x + 100y = 37,2 & x = 0,377 \end{array} \quad y = 0,372 - 0,377 = -0,04$$

$y$  получился отрицательный, поэтому такой вариант невозможен.

- 3) Найдем неизвестные в том варианте, когда в уравнении (3) в избытке  $\text{CO}_2$ :

$$v(\text{выделившейся воды}) = x + 0,5y + 0,5x = 1,5x + 0,5y.$$

$$m(\text{выделившейся воды}) = (1,5x + 0,5y) \cdot 18 = 27x + 9y.$$

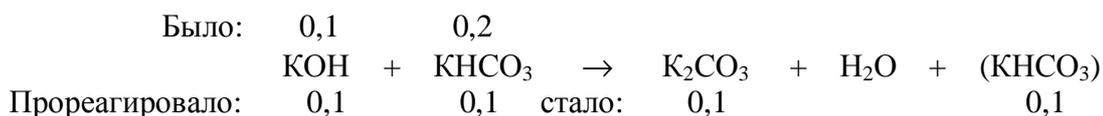
$$v(\text{выделившегося CO}_2) = 0,5y - 0,5x.$$

$$m(\text{выделившегося CO}_2) = 22y - 22x.$$

$$\text{Изменение массы} = 27x + 9y + 22y - 22x = 5x + 31y$$

$$\begin{array}{l|l|l} 74x + 100y = 27,4 & 74x + 100y = 27,4 & 57,871x = 5,787 \\ 5x + 31y = 6,7 & 100/31 & 16,129x + 100y = 21,613 & x = 0,1 \end{array} \quad y = (6,7 - 0,5) / 31 = 0,2$$

- 4) Запишем уравнение реакции, происходящей при растворении веществ в воде, обозначив количества реагирующих и образующихся веществ, и рассчитаем состав полученного раствора:



$$m(\text{конечного раствора}) = 27,4 + 72,6 = 100 \text{ г}$$

$$\omega(\text{K}_2\text{CO}_3) = 0,1 \cdot 138 / 100 = 0,138.$$

$$\omega(\text{KHCO}_3) = 0,1 \cdot 100 / 100 = 0,1$$

Ответ:  $\omega(\text{K}_2\text{CO}_3) = 13,8 \%$ ;  $\omega(\text{KHCO}_3) = 10 \%$ .

**Пример 132.** В 250 мл воды растворили 40 г смеси трех солей и туда же добавили раствор кислоты с массовой долей последней 15 %, при этом наблюдалось выделение газа с запахом тухлых яиц. Полученный раствор имел кислую реакцию среды, и плотность его составляла 1,05 г/мл. Определите молярные концентрации веществ в конечном растворе, если известно, что массовые доли ионов магния, кальция, калия и хлорид-ионов в нем были одинаковы, а концентрация бромид-ионов превышала концентрацию иодид-ионов.

Решение:

- 1) Если равны массовые доли веществ в одном растворе, то равны и их массы. Обозначим массы ионов магния, кальция, калия и хлорид-ионов через  $x$  и выразим их количества вещества:

$$v(\text{Mg}^{2+}) = x / 24 = 0,0417x;$$

$$v(\text{Ca}^{2+}) = x / 40 = 0,025x;$$

$$v(\text{K}^+) = x / 39 = 0,0256x;$$

$$v(\text{Cl}^-) = x / 35,5 = 0,0282x.$$

Из полученных значений видно, что ни одна из исходных солей не могла быть хлоридом, следовательно, кислотой была HCl, а солями были бромид, иодид и, судя по выделению сероводорода, сульфид или гидросульфид. Сравнивая количества вещества ионов металлов с количеством вещества ионов хлора, и учитывая кислотность полученного раствора (HCl должна быть в избытке по отношению к сульфиду или гидросульфиду), можно сделать вывод, что одной из солей был гидросульфид или сульфид калия. Ионов магния в растворе больше, чем ионов кальция, поэтому двумя другими солями были бромид магния и иодид кальция. Задача имеет два решения – одно, если соль была гидросульфидом и второе, если соль была сульфидом. Ниже приводится решение для гидросульфида.

- 2) Определяем  $x$ . Для этого выражаем через  $x$  массы солей и приравниваем их сумму общей массе.

$$m(\text{KHS}) = 0,0256x \cdot 72 = 1,84x;$$

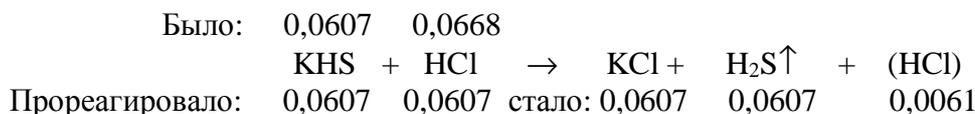
$$m(\text{MgBr}_2) = 0,0417x \cdot 184 = 7,67x;$$

$$m(\text{CaI}_2) = 0,025x \cdot 294 = 7,35x.$$

$$1,84x + 7,67x + 7,35x = 40; 16,86x = 40; x = 2,37 \text{ г.}$$

- 3) Находим количества вещества исходных соединений, записываем уравнение реакции и находим количества веществ в конечном растворе:

$$\begin{aligned}
 v(\text{KHS}) &= 0,0256x = 0,0256 \cdot 2,37 = 0,0607 \text{ моль}; \\
 v(\text{MgBr}_2) &= 0,0417x = 0,0417 \cdot 2,37 = 0,0988 \text{ моль}; \\
 m(\text{CaI}_2) &= 0,025x = 0,025 \cdot 2,37 = 0,0593 \text{ моль}; \\
 v(\text{HCl}) &= 0,0282x = 0,0282 \cdot 2,37 = 0,0668 \text{ моль}.
 \end{aligned}$$



4) Находим объем конечного раствора и рассчитываем молярные концентрации веществ в нем:

$$\begin{aligned}
 m(\text{раствора HCl}) &= 0,0668 \cdot 36,5 / 0,15 = 16,3 \text{ г.} \\
 m(\text{конечного раствора}) &= 250 + 40 + 16,3 - 0,0607 \cdot 34 = 304,2 \text{ г.} \\
 V(\text{конечного раствора}) &= 304,2 / 1,05 = 290 \text{ мл} = 0,29 \text{ л.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C(\text{MgBr}_2) &= 0,0988 / 0,29 = 0,341 \text{ моль/л.} \\
 C(\text{CaI}_2) &= 0,0593 / 0,29 = 0,204 \text{ моль/л.} \\
 C(\text{HCl}) &= 0,0061 / 0,29 = 0,021 \text{ моль/л.} \\
 C(\text{KCl}) &= 0,0607 / 0,29 = 0,209 \text{ моль/л.}
 \end{aligned}$$

Ответ:  $C(\text{MgBr}_2) = 0,341$  моль/л;  $C(\text{CaI}_2) = 0,204$  моль/л;  $C(\text{HCl}) = 0,021$  моль/л;  $C(\text{KCl}) = 0,209$  моль/л.

### Задачи для самостоятельного решения

189. 85,8 г кристаллической соды (десятиводного кристаллогидрата) растворили в 100 мл воды и к раствору осторожно добавили некоторое количество раствора серной кислоты с концентрацией 1,25 моль/л и плотностью 1,06 г/мл. Определите массовые доли веществ в полученном растворе, если известно, что массовая доля ионов натрия в нем составила 3,932 %.
190. В сосуд поместили 15 г смеси нитрата натрия и карбоната железа (II), сосуд вакуумировали, закрыли и нагрели до высокой температуры. После прокаливания в сосуде осталось 10,6 г твердого остатка. Определите состав исходной смеси солей в массовых долях.
191. В сосуд емкостью 3 л, заполненный азотом при н.у., поместили 48 г смеси меди, нитрата натрия и нитрата свинца (II). Сосуд закрыли и нагревали при 400 °С до окончания химических реакций. После приведения к н.у. объем газовой смеси составил 8,6 л, а масса твердого остатка в сосуде — 38,2 г. Определите массовые доли солей в исходной смеси.
192. Смесь гидроксида и гидрокарбоната калия растворили в воде, затем полученный раствор упарили и остаток прокалили. Определите массовые доли веществ в исходной смеси гидроксида и гидрокарбоната, если известно, что ее масса на 21 % больше массы остатка после прокаливания.
193. В 250 мл воды растворили 40 г смеси трех солей и туда же добавили раствор кислоты с массовой долей последней 15 %, при этом наблюдалось выделение газа с запахом тухлых яиц. Полученный раствор имел кислую реакцию среды, и плотность его составляла 1,05 г/мл. Определите молярные концентрации веществ в конечном растворе, если известно, что массовые доли ионов магния, кальция, калия и хлорид-ионов в нем были одинаковы, а концентрация бромид-ионов превышала концентрацию иодид-ионов. (Решите задачу для сульфида).

## 2.8. Составление материального баланса

Этот метод основан на законе сохранения массы вещества или количества вещества элемента при протекании химических реакций. Чаще всего он используется при решении задач на нахождение формул веществ по продуктам их превращений. Уравнения материального баланса могут составляться как на количество вещества элемента, так и на массы веществ, или смесей, или растворов, взятых для проведения реакции и образовавшихся в результате ее.

**Пример 133.** Некоторое количество соли органической кислоты сожгли в 3,136 л (н.у.) кислорода. После приведения продуктов сгорания к нормальным условиям выделилось 2,52 г воды и осталось 2,912 л газовой смеси, которую пропустили через избыток раствора гидроксида кальция, в результате чего выпало 8 г осадка. Предложите структурную формулу соли, если известно, что оставшаяся азотно-кислородная смесь имеет плотность по водороду 15,2.

Решение:

- 1) Если судить по продуктам сгорания, исходная соль содержала углерод, водород, кислород и азот. Пересчитываем все массы и объемы на количества веществ и записываем уравнения химических реакций:

$$v(\text{исходного кислорода}) = 3,136 / 22,4 = 0,14 \text{ моль.}$$

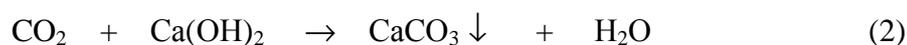
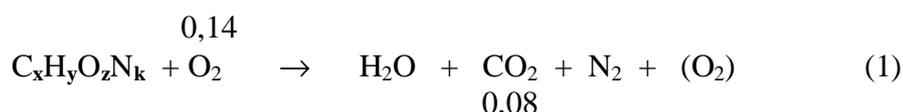
$$v(\text{H}_2\text{O}) = 2,52 / 18 = 0,14 \text{ моль.}$$

$$v(\text{H}) = 0,14 \cdot 2 = 0,28 \text{ моль.}$$

$$v(\text{газовой смеси}) = 2,912 / 22,4 = 0,13 \text{ моль.}$$

$$v(\text{CaCO}_3) = 8 / 100 = 0,08 \text{ моль.}$$

$$v(\text{C}) = 0,08 \text{ моль.}$$



- 2) Рассчитываем состав смеси азота и кислорода, оставшейся после пропускания газов через гидроксид кальция:

$$v(\text{N}_2 + \text{O}_2) = 0,13 - 0,08 = 0,05 \text{ моль.}$$

$$M_{\text{ср.}}(\text{смеси N}_2 + \text{O}_2) = 15,2 \cdot 2 = 30,4 \text{ г/моль.}$$

$$m(\text{смеси N}_2 + \text{O}_2) = 30,4 \cdot 0,05 = 1,52 \text{ г.}$$

Пусть  $v(\text{N}_2) = \mathbf{a}$  и  $v(\text{O}_2) = \mathbf{b}$ .

$$\begin{array}{l|l|l|l} \mathbf{a} + \mathbf{b} = 0,05 & \cdot 32 & 32\mathbf{a} + 32\mathbf{b} = 1,6 & 4\mathbf{a} = 0,08 \\ 28\mathbf{a} + 32\mathbf{b} = 1,52 & & 28\mathbf{a} + 32\mathbf{b} = 1,52 & \mathbf{a} = 0,02 \end{array} \quad \left| \quad \mathbf{b} = 0,03 \right.$$

$$v(\text{N}_2) = 0,02 \text{ моль.}$$

$$v(\text{N}) = 0,04 \text{ моль.}$$

$$v(\text{O}_2) = 0,03 \text{ моль}$$

- 3) Составляем уравнение материального баланса по количеству атомов кислорода в левой и правой части уравнения (1):

$$\begin{aligned}v(\text{O в исходном веществе}) + v(\text{O в исходном кислороде}) &= v(\text{O в воде}) + v(\text{O в CO}_2) \\ &+ v(\text{O в оставшемся кислороде}) \\ v(\text{O в исходном веществе}) &= 0,14 + 0,08 \cdot 2 + 0,03 \cdot 2 - 0,14 \cdot 2 = 0,08 \text{ моль.}\end{aligned}$$

- 4) Определяем формулу вещества:

$x : y : z : k = 0,08 : 0,28 : 0,08 : 0,04 = 2 : 7 : 2 : 1$ .  $\text{C}_2\text{H}_7\text{O}_2\text{N}$ . Это ацетат аммония  $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ .

Ответ:  $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ .

**Пример 134.** 5,35 г соли органической кислоты сожгли в 6,44 л кислорода (н.у.). В результате этого образовалось 4,05 г воды и газовая смесь с плотностью по воздуху 1,317. При пропускании этой газовой смеси через избыток раствора гидроксида бария ее объем уменьшился на 54,54 %. После пропускания оставшейся газовой смеси над избытком раскаленной меди и приведения к н.у. объем последней уменьшился в 5 раз и остался газ с плотностью по водороду 14. Определите возможную структурную формулы сожженной соли.

Решение:

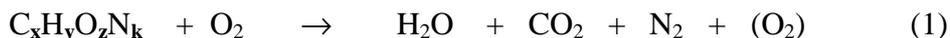
- 1) Проводим предварительные расчеты:

$$\begin{aligned}v(\text{исходного кислорода}) &= 6,44 / 22,4 = 0,2875 \text{ моль.} \\ m(\text{исходного кислорода}) &= 0,2875 \cdot 32 = 9,2 \text{ г.} \\ v(\text{H}_2\text{O}) &= 4,05 / 18 = 0,225 \text{ моль.} \\ v(\text{H}) &= 0,225 \cdot 2 = 0,45 \text{ моль.} \\ M_{\text{ср.}}(\text{газовой смеси}) &= 1,317 \cdot 29 = 38,19 \text{ г/моль.} \\ M(\text{оставшегося в конце газа}) &= 14 \cdot 2 = 28 \text{ г/моль — это N}_2.\end{aligned}$$

- 2) Составляем уравнение материального баланса на массы взятых и полученных веществ:

$$\begin{aligned}m(\text{сожженного вещества}) + m(\text{исходного кислорода}) &= m(\text{H}_2\text{O}) + m(\text{газовой смеси}). \\ m(\text{газовой смеси}) &= 5,35 + 9,2 - 4,05 = 10,5 \text{ г.} \\ v(\text{газовой смеси}) &= 10,5 / 38,19 = 0,275 \text{ моль}\end{aligned}$$

- 3) Записываем уравнения реакций и рассчитываем количества вещества С и N:



$$\begin{aligned}v(\text{CO}_2) &= 0,275 \cdot 0,5454 = 0,15 \text{ моль.} \\ v(\text{C}) &= 0,15 \text{ моль.} \\ v(\text{N}_2 + \text{O}_2) &= 0,275 - 0,15 = 0,125 \text{ моль.}\end{aligned}$$

$$v(\text{N}_2) = 0,125 / 5 = 0,025 \text{ моль.}$$

$$v(\text{N}) = 0,025 \cdot 2 = 0,05 \text{ моль.}$$

$$v(\text{оставшегося O}_2) = 0,125 - 0,025 = 0,1 \text{ моль.}$$

$$v(\text{O в исходном веществе}) + v(\text{O в исходном кислороде}) = v(\text{O в воде}) + v(\text{O в CO}_2) + v(\text{O в оставшемся кислороде})$$

$$v(\text{O в исходном веществе}) = 0,225 + 0,15 \cdot 2 + 0,1 \cdot 2 - 0,2875 \cdot 2 = 0,15 \text{ моль.}$$

4) Определяем формулу вещества:

$$\mathbf{x : y : z : k} = 0,15 : 0,45 : 0,15 : 0,05 = 3 : 9 : 3 : 1. \text{ C}_3\text{H}_9\text{O}_3\text{N}.$$

Возможная формула:  $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COONH}_4$  (аммонийная соль молочной кислоты).

Ответ:  $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COONH}_4$  (аммонийная соль молочной кислоты).

**Пример 135.** 78,46 г кристаллогидрата неизвестной соли, состоящей из трех элементов, смешали с серной кислотой и прокалили. При этом выделились пары воды и осталось 81,9 г сухого остатка, содержащего по массе 31,5 % исходной безводной соли, 26 % сульфата натрия и оксид элемента (VI) с массовой долей кислорода 20,7 %. Определите формулу исходного кристаллогидрата.

Решение:

1) Определяем неизвестный элемент:

$$M(\text{ЭO}_3) = 48 / 0,207 = 232 \text{ г/моль.}$$

$$M(\text{Э}) = 232 - 48 = 184 \text{ г/моль. Элемент — вольфрам.}$$

2) Судя по образовавшимся продуктам, исходное соединение содержало натрий, вольфрам и кислород. Запишем схему происходящих химических превращений:



3) Рассчитаем состав сухого остатка:

$$m(\text{Na}_x\text{W}_y\text{O}_z) = 81,9 \cdot 0,315 = 25,8 \text{ г.}$$

$$m(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 81,9 \cdot 0,26 = 21,3 \text{ г.}$$

$$m(\text{WO}_3) = 81,9 - 25,8 - 21,3 = 34,8 \text{ г.}$$

$$v(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 21,3 / 142 = 0,15 \text{ моль.}$$

$$v(\text{Na}) = 0,15 \cdot 2 = 0,3 \text{ моль. } v(\text{WO}_3) = 34,8 / 232 = 0,15 \text{ моль.}$$

$$v(\text{W}) = 0,15 \text{ моль.}$$

4) Рассчитаем массу серной кислоты, составим уравнение материального баланса на массы взятых и образовавшихся веществ и определим массу и количество вещества кристаллизационной воды:

$$v(\text{H}_2\text{SO}_4) = v(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 0,15 \text{ моль.}$$

$$m(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,15 \cdot 98 = 14,7 \text{ г.}$$

$$m(\text{кристаллогидрата}) + m(\text{H}_2\text{SO}_4) = m(\text{H}_2\text{O}) + m(\text{сухого остатка})$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 78,46 + 14,7 - 81,9 = 11,26 \text{ г.}$$

$$v(\text{H}_2\text{O}) = 11,26 / 18 = 0,6256 \text{ моль}$$

Найденное значение включает в себя кристаллизационную воду и воду, образовавшуюся в результате реакции безводной соли с серной кислотой. Поскольку серной кислоты было 0,15 моль, воды из нее образовалось тоже 0,15 моль.

$$v(\text{кристаллизационной воды}) = 0,6256 - 0,15 = 0,4756 \text{ моль.}$$

$$m(\text{кристаллизационной воды}) = 0,4756 \cdot 18 = 8,56 \text{ г.}$$

- 5) Находим массу безводной соли, вступившей в реакцию с серной кислотой, количество вещества кислорода в ней и определяем формулу безводной соли:

$$m(\text{исходной безводной соли}) = 78,46 - 8,56 = 69,9 \text{ г.}$$

$$m(\text{безводной соли, вступившей в реакцию с серной кислотой}) = 69,9 - 25,8 = 44,1 \text{ г.}$$

$$m(\text{O в безводной соли, вступившей в реакцию с серной кислотой}) = 44,1 - 0,3 \cdot 23 - 0,15 \cdot 184 = 9,6 \text{ г.}$$

$$v(\text{O в безводной соли, вступившей в реакцию с серной кислотой}) = 9,6 / 16 = 0,6 \text{ моль.}$$

$$x : y : z = 0,3 : 0,15 : 0,6 = 2 : 1 : 4. \quad \text{Na}_2\text{WO}_4.$$

- б) Находим формулу кристаллогидрата:

$$M(\text{Na}_2\text{WO}_4) = 294 \text{ г/моль.}$$

$$v(\text{Na}_2\text{WO}_4 \text{ в исходном кристаллогидрате}) = 69,9 / 294 = 0,2378 \text{ моль.}$$

$$n = v(\text{кристаллизационной воды}) / v(\text{Na}_2\text{WO}_4) = 0,4756 / 0,2378 = 2.$$

$$\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2 \text{ H}_2\text{O}.$$

Ответ:  $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2 \text{ H}_2\text{O}$ .

**Пример 136.** 11,6г кристаллогидрата двойной неорганической соли растворили в 40 мл концентрированного раствора гидроксида натрия с плотностью 1,4 г/мл и нагрели. При этом выделилось 1,12 л газа (н.у), образовалось 2,25 г осадка гидроксида металла (II), в котором массовая доля металла составляет 62,22 %, и остался раствор, содержащий оставшийся гидроксид натрия и 11,01 % (по массе) сульфата натрия. Определите формулу кристаллогидрата.

Решение:

- 1) Определяем металл:

$$M\text{e}(\text{OH})_2. \quad \omega(\text{OH}) = 1 - 0,6222 = 0,3778.$$

$$M[M\text{e}(\text{OH})_2] = 17 \cdot 2 / 0,3778 = 90 \text{ г/моль.}$$

$$M(\text{Me}) = 90 - 34 = 56 \text{ г/моль. Металл – железо.}$$

- 2) Единственный газ, который может выделяться при нагревании неорганической соли со щелочью, — аммиак. Судя по продуктам реакции, исходная двойная соль содержала катионы аммония и железа (+2) и сульфат-анионы. Запишем схему химической реакции и рассчитаем массу оставшегося раствора:



$$v(\text{NH}_3) = 1,12 / 22,4 = 0,05 \text{ моль.}$$

$$m(\text{NH}_3) = 0,05 \cdot 17 = 0,85 \text{ г.}$$

$$m(\text{кристаллогидрата}) + m(\text{раствора щелочи}) = m(\text{NH}_3) + m(\text{оставшегося раствора}) + m[\text{Fe}(\text{OH})_2]$$

$$m(\text{оставшегося раствора}) = 11,6 + 40 \cdot 1,4 - 0,85 - 2,25 = 64,5 \text{ г.}$$

3) Определяем формулу безводной двойной соли:

$$v[\text{Fe}(\text{OH})_2] = 2,25 / 90 = 0,025 \text{ моль.}$$

$$v(\text{Fe}) = 0,025 \text{ моль.}$$

$$m(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 64,5 \cdot 0,1101 = 7,1 \text{ г.}$$

$$v(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 7,1 / 142 = 0,05 \text{ моль.}$$

$$v(\text{SO}_4) = 0,05 \text{ моль.}$$

$$x : y : z = 0,05 : 0,025 : 0,05 = 2 : 1 : 2. \quad (\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2.$$

4) Находим формулу кристаллогидрата:

$$M[(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2] = 284 \text{ г/моль.}$$

$$v[(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2] = v(\text{Fe}) = 0,025 \text{ моль.}$$

$$m[(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2] = 284 \cdot 0,025 = 7,1 \text{ г.}$$

$$m(\text{кристаллизационной воды}) = 11,6 - 7,1 = 4,5 \text{ г.}$$

$$v(\text{кристаллизационной воды}) = 4,5 / 18 = 0,25 \text{ моль.}$$

$$n = 0,25 / 0,025 = 10. \quad (\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 10 \text{ H}_2\text{O}.$$

Ответ:  $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 10 \text{ H}_2\text{O}$ .

### Задачи для самостоятельного решения

194. При сжигании некоторого количества органического вещества в 11,2 л (н.у.) кислорода образовалось 6,3 г воды и 10,64 л (н.у.) газовой смеси, объем которой после пропускания через избыток раствора щелочи уменьшился на 6,72 л. Предложите возможную структурную формулу вещества, если известно, что оно содержит азот и что плотность по воздуху оставшейся газовой смеси равна 1,064.
195. Образец соли двухосновной органической кислоты массой 8,625 г сожгли в 5,6 л кислорода (н.у.), в результате чего образовалось 5,625 г воды и газовая смесь с плотностью 1,747 г/л. После пропускания этой газовой смеси через избыток раствора карбоната натрия ее объем уменьшился на 66,67 %, а после пропускания оставшейся смеси газов через трубку с раскаленной медью осталось 1,4 л (н.у.) газа с плотностью 1,25 г/л. Предложите структурную формулу сожженной соли.
196. К 64,8 г кристаллогидрата неизвестной соли, содержащей три элемента добавили некоторое количество серной кислоты и прокалили, в результате чего выделилась вода и осталось 58,8 г твердого вещества, содержащего по массе 19,9 % исходной безводной соли, 44,4 % сульфата калия и оксид элемента (III), в котором массовая доля кислорода составляет 68,6 %. Определите формулу кристаллогидрата.
197. 22,65 г кристаллогидрата двойной неорганической соли при нагревании растворили в растворе гидроксида натрия с массовой долей щелочи 0,4. При этом выделилось 1,12 л газа (н.у.) и выпало 3,9 г осадка гидроксида металла(III), в котором массовая доля металла составляет 34,62 %. После отделения осадка осталось 37,9 г раствора,

содержащего только сульфат натрия. Определите формулу кристаллогидрата исходной соли.

198. 8,05 г кристаллогидрата соли, состоящей из трех элементов, один из которых кислород, смешали с избытком соляной кислоты. Полученную смесь упарили и нагрели, в результате чего осталось 9,45 г сухой смеси, содержащей 19,76 % (по массе) хлорида калия и хлорид элемента (Ш), в котором массовая доля хлора составляет 35,1 %. Определите формулу кристаллогидрата, если известно, что массовая доля водорода как элемента в нем равна 0,0186.

### Часть 3. Конкурсные задачи

#### 3.1. Газы

199. Определите плотность газа (н.у.), полученного в результате пропускания воздуха над раскаленным углем, если при этом его объем увеличился на 5%, а при продувании полученной газовой смеси через избыток раствора щелочи ее объем уменьшается на 10%. (Содержание кислорода в воздухе считать 20% по объему)
200. 100 л метана (н.у.) пропустили с избытком водяного пара над никелевым катализатором. Определите выход в реакции конверсии метана и объем образовавшейся газовой смеси (после приведения ее к нормальным условиям), если известно, что этой газовой смесью можно восстановить 768 г меди из ее оксида (II). Восстановительными свойствами метана пренебречь.
201. При пропускании метана через раскаленную трубку с фильтром произошло частичное его разложение, и масса трубки увеличилась на 2,4 г. Определите объем взятого метана (н.у.), если образующаяся при этом газовая смесь имеет плотность по водороду 4,2, объем ее больше объема исходного метана на 66,67 %, и она способна обесцвечивать бромную воду.
202. Сосуд емкостью 5,6 при н.у. заполнили метаном, затем нагрели до высокой температуры, в результате чего произошло частичное разложение метана. Определите массу образовавшейся сажи, если известно, что после приведения к нормальным условиям объем полученной газовой смеси оказался в 1,6 раза больше объема исходного метана, эта газовая смесь обесцвечивает бромную воду и имеет плотность по воздуху 0,2931.
203. Смесь метана с кислородом, имеющую плотность 0,9286 г/л (н.у.) пропускают через реактор для получения ацетилена. Определите выход ацетилена в расчете на исходный метан, если образующаяся газовая смесь после конденсации паров воды и приведения к нормальным условиям содержит только  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$  и  $\text{C}_2\text{H}_2$ , а ее объем по сравнению с исходной смесью увеличивается на 10%. Реакцией образования сажи пренебречь.
204. Некоторое количество триметиламина смешали с избытком кислорода и сожгли. После приведения к нормальным условиям объем газовой смеси уменьшился на 36,67 %, а ее масса на 3,24 г. Определите объемный состав исходной и конечной газовых смесей.
205. Избыток кислорода смешали с триметиламином, подожгли, и продукты сгорания привели к нормальным условиям. Определите объемные составы исходной и конечной газовых смесей (в литрах), если известно, что масса конечной газовой смеси была на 12,96 г, а объем на 32,35 % меньше массы и объема исходной газовой смеси.
206. Избыток кислорода смешали с триметиламином, подожгли, и продукты сгорания привели к нормальным условиям. Определите объемные составы исходной и конечной газовых смесей (в литрах), если известно, что масса исходной газовой смеси оказалась на 8,1 г, а объем на 63,7 % больше массы и объема конечной газовой смеси соответственно.
207. Смесь диметиламина с избытком кислорода сожгли, и продукты сгорания привели к нормальным условиям. Определите объемный состав исходной и конечной

газовых смесей (в литрах), если известно, что масса исходной газовой смеси была на 6,3 г, а её объем (н.у.) на 60% больше массы и объема конечной газовой смеси соответственно.

208. Некоторый объем кислорода смешали с 5,6 л азота (н.у.) и пропустили через озонатор, при этом объем газовой смеси уменьшился на 9,1%, а ее плотность стала 1,482 г/л (н.у.). Определите объем взятого кислорода.
209. Некоторое количество метиламина сожгли в 33,6 л (н.у.) кислорода и после приведения к нормальным условиям полученную газовую смесь пропустили через озонатор, в результате чего ее объем уменьшился на 4 %, и плотность по водороду стала равной 18,4. Определите массу взятого метиламина и объемную долю озона в конечной газовой смеси.
210. 11,2л аммиака (н.у.) сожгли в избытке кислорода, образовавшуюся смесь газов привели к н.у. и пропустили через озонатор, после чего плотность полученной газовой смеси по кислороду стала равна 1,131. Определите объем взятого кислорода (н.у.) и объемную долю озона в конечной газовой смеси, если известно, что объем газовой смеси до озонирования был на 19,05 % больше конечного объема.
211. 8,96 л (н.у.) метиламина сожгли в избытке кислорода. Полученную газовую смесь привели к нормальным условиям и пропустили через озонатор, причем оказалось, что ее плотность при этом увеличилась на 4,17 %, и стала равной 1,643 г/л (н.у.). Определите исходный объем кислорода, и объемные доли веществ в конечной газовой смеси.
212. Аммиачно-кислородную смесь с плотностью 1,194 г/л (н.у.) пропустили над платиново-родиевым катализатором. Полученную смесь веществ при небольшом нагревании выдерживали в закрытом сосуде до прекращения химических реакций, затем охладили. Определите массовые доли веществ в сосуде после охлаждения, если считать, что каталитическое окисление аммиака проходит с выходом 100 %.
213. Смесь кислорода с аммиаком, в которой массовая доля кислорода составляла 73,85%, пропустили над платиново-родиевым катализатором. Полученную смесь веществ выдерживали в закрытом сосуде до прекращения всех химических реакций. Определите массовые доли веществ в образовавшемся растворе, если в первом процессе в реакцию вступает только 75 % аммиака и не образуется никаких побочных продуктов.
214. 250 мл смеси азота, водорода и метана смешали с 500 мл кислорода и взорвали. После приведения к нормальным условиям объем газовой смеси составил 387,5 мл, а после пропускания ее через избыток раствора щелочи он уменьшился до 262,5 мл. Определите состав исходной газовой смеси в % по объему.
215. К 100 мл смеси метана, метиламина и азота добавили 250 мл кислорода и полученную смесь газов взорвали. После охлаждения и конденсации воды объем смеси составил 240 мл, а после пропускания ее через избыток раствора гидроксида натрия он уменьшился до 180 мл. Определите объемный состав исходной газовой смеси. (Все объемы измерены при одинаковых условиях).
216. 10 объемов смеси азота, метиламина и этана смешали с 21 объемом кислорода и подожгли. После приведения к н.у. была получена смесь трех газов с равными молярными концентрациями. Определите массовые и объемные доли газов в исходной смеси.
217. Смесь азота, метиламина и этана смешали с двойным объемом кислорода и подожгли. После приведения к н.у. была получена смесь трех газов с равными мо-

- лярными концентрациями. Определите массовые и объемные доли газов в исходной смеси.
218. После пропускания смеси этилена и водорода над никелевым катализатором плотность газа возросла на 25%. Полученный газ не обесцвечивает бромную воду. Определите массовые доли веществ в исходной и конечной смеси газов
219. Через водный раствор брома пропустили 43,6 г газовой смеси, состоящей из бутана, пропена и 2-метилпропена. В реакцию вступило 56 г брома. Определить состав исходной газовой смеси в объемных процентах, если ее плотность составляла 2,433 г/л (н.у.).
220. Продукты полного сгорания смеси пропана и метиламина в избытке кислорода пропустили через избыток раствора гидроксида бария, в результате чего образовалось 13,79 г осадка. Не поглощенные при этом газы пропустили над раскаленной медью. После этого приведенный к нормальным условиям объем газа стал в 2,5 раза меньше объема исходной смеси пропана и метиламина (н. у.). Определите массовые доли веществ в исходной смеси газов.
221. Смесь метана, ацетилен и водорода пропустили над никелевым катализатором, при этом объем газовой смеси уменьшился на 40%, причем полученная газовая смесь не обесцвечивает раствор перманганата калия. На полное сжигание полученной смеси потребовался объем кислорода, вдвое больший ее объема. Определите состав исходной смеси газов (в массовых долях). Все объемы измерены при одинаковых условиях.
222. Смесь ацетилен, этилен и водорода с плотностью по водороду 4,4 имеет массовую долю водорода как элемента 25%. Определите состав смеси (в процентах по объему) после пропускания ее над никелевым катализатором. Выход в реакциях гидрирования считать 100%.
223. Газовая смесь, состоящая из водорода, оксида углерода (II) и этена, имеет плотность по водороду 7,5. Определите состав этой смеси в процентах по объему, если известно, что на сжигание одного объема этой смеси требуется 1,125 объема кислорода (н. у.).
224. Смесь этана, пропена и формальдегида подвергли полному гидрированию, при этом объем этой смеси оказался на 30 % больше объема израсходованного водорода. Определите массовые доли газов в исходной смеси, если известно, что при растворении продуктов сгорания смеси, полученной в результате гидрирования, в 38,4 мл раствора гидроксида натрия с концентрацией щелочи 7,8125 моль/л и плотностью 1,25 г/мл образовался раствор, содержащий 12,72 г карбоната натрия и гидроксид натрия с массовой долей 4,2395 %.
225. На полное гидрирование смеси этана, пропена и формальдегида потребовался объем водорода, на 23,08 % меньший объема этой смеси. Определите молярные концентрации газов в исходной смеси газов (н.у.), если известно, что при растворении продуктов сгорания образовавшейся в результате гидрирования смеси веществ в 38,4 мл раствора гидроксида натрия с массовой долей щелочи 25 % и плотностью 1,25 г/мл образовался раствор, содержащий гидроксид натрия с массовой долей 4,2395 % и карбонат натрия массой 12,72 г.
226. Смесь метана, ацетилен и формальдегида с избытком водорода нагревали в присутствии катализатора до полного гидрирования исходных веществ, в результате чего объем газовой смеси уменьшился на 35 % (объемы измерены при 200 °С и атмосферном давлении). На сжигание полученной смеси потребовалось 24,08 л кислорода (н.у.). Образовавшиеся продукты сгорания растворили в 215 мл рас-

творы гидроксида калия с массовой долей щелочи 25 % и плотностью 1,25 г/мл. Определите объемные доли газов в исходной смеси, если известно, что в образовавшемся растворе содержатся гидроксид калия с массовой долей 1,78 % и карбонат калия массой 75,9 г.

227. Один и тот же сосуд при нормальных условиях поочередно заполняли тремя различными неорганическими газами, при этом сосуд каждый раз взвешивали, и его масса составляла 571,2, 545,6 и 547,2 г соответственно. Плотность второго газа по третьему равна 0,9412, а плотность третьего газа по аммиаку равна 2. Взвешенные газы смешали между собой и нагрели. Определите массы веществ в полученной смеси, если известно, что исходные газы включали в себя три элемента.
228. Один и тот же сосуд при нормальных условиях поочередно заполняли тремя различными неорганическими газами, при этом сосуд каждый раз взвешивали, и его масса составляла 466, 482 и 467 г соответственно. Плотность второго газа по третьему равна 1,8824, а плотность третьего газа по кислороду равна 1,0625. Взвешенные газы смешали между собой и нагрели. Определите массы веществ в полученной смеси, если известно, что исходные газы включали в себя три элемента.
229. Два из трех газов (сероводород, водород и кислород) смешали и получили газовую смесь, плотность которой оказалась равной плотности оставшегося газа. Полученную газовую смесь вместе с равным ей объемом третьего газа под давлением поместили в замкнутый сосуд емкостью 4 л, содержащий азот при н.у. и нагрели при  $600^{\circ}\text{C}$  до окончания химических реакций, затем постепенно охладили. Определите массы веществ, содержавшихся в сосуде после охлаждения, если известно, что плотность газовой смеси в сосуде перед нагреванием равнялась 9,25 г/л.
230. Этиловый спирт, полученный с выходом 90% брожением 250 г глюкозы, нагрели с концентрированной серной кислотой. При этом остался водный раствор, содержащий только серную кислоту, и получилась смесь газа и паров двух органических веществ, имеющая плотность по азоту 1,62. Определите состав этой смеси в массовых долях, если известно, что при охлаждении вышеуказанной газо-паровой смеси до  $20^{\circ}\text{C}$  получено 78,65 мл жидкости с плотностью 0,74 г/мл.
231. 24 г пропанола-2 смешали с 50 г концентрированной серной кислоты. Полученную смесь нагрели до высокой температуры, при этом выделилась газо-паровая смесь, имеющая плотность по воздуху 1,3793 и осталось 50 г жидкости, не содержащей органических веществ. Рассчитайте массы каждого из трех образовавшихся органических веществ, учитывая, что 5 % исходного вещества подверглось изомеризации, а 15 % его осталось не прореагировавшим.
232. 55 г концентрированной серной кислоты смешали с 36 г пропанола-2. Полученную смесь нагрели до высокой температуры, при этом выделилась газо-паровая смесь, имеющая плотность по азоту 1,4286 и осталось 30 мл жидкости с плотностью 1,833 г/мл, не содержащей органических веществ. Рассчитайте массы каждого из трех образовавшихся органических веществ, учитывая, что 15 % исходного вещества не вступило в реакцию, а 5 % его изомеризовалось.

## 3.2. Растворы и смеси

### 3.2.1. Растворение простых веществ

233. 11,2 г железа растворили в 129 мл раствора серной кислоты с массовой долей кислоты 0,2 и плотностью 1,14 г/мл. Раствор охладили до 10°C, при этом из него выпало 13,9 г семиводного кристаллогидрата сульфата железа, и остался раствор с плотностью 1,21 г/мл. Определите массовые доли и молярные концентрации веществ в конечном растворе.
234. Некоторое количество меди растворили при нагревании в 70 мл раствора серной кислоты с массовой долей кислоты 0,8 и плотностью 1,4 г/мл, в результате чего выделилось 3,36 л газа (н.у.). Полученный раствор охладили, при этом из него выпало некоторое количество медного купороса, и остался раствор с плотностью 1,35 г/мл, в котором концентрация сульфат-ионов составила 9,976 моль/л. Определите массу осадка и массовые доли веществ в конечном растворе.
235. При растворении 19,2 г меди в 100 мл раствора азотной кислоты с массовой долей кислоты 50% и плотностью 1,44 г/мл выделилось 8,96 л смеси двух газов (н.у.). Определите массовые доли веществ в образовавшемся растворе.
236. При растворении некоторого количества меди в 120 мл 50%-ной (по массе) азотной кислоты с плотностью 1,44 г/мл выделилось 8,96 л смеси двух газов с плотностью по воздуху 1,448. Определите массу растворенной меди и массовые доли веществ в конечном растворе.
237. При растворении 25,6 г меди в 134,65 мл раствора азотной кислоты с плотностью 1,31 г/мл выделилось 8,96 л (н.у.) смеси газов. В результате выпаривании полученного раствора и конденсации выделяющихся паров было получено 78 мл раствора азотной кислоты с плотностью 1,084 г/мл и массовой долей кислоты 14,9 %. Определите массовую долю азотной кислоты в исходном растворе и массовые доли веществ в остатке после выпаривания, если известно, что он состоял из смеси тригидрата и гексагидрата нитрата меди.
238. При растворении 32 г меди в 219,1 мл раствора азотной кислоты с плотностью 1,278 г/мл выделилась смесь газов с плотностью 1,8155 г/л (н.у.). В результате выпаривании полученного раствора и конденсации выделяющихся паров было получено 133,06 мл раствора азотной кислоты с плотностью 1,11 г/мл и массовой долей кислоты 17,06 %. Определите массовую долю азотной кислоты в исходном растворе и массовые доли веществ в остатке после выпаривания, если известно, что он состоял из смеси тригидрата и гексагидрата нитрата меди.
239. Некоторое количество серебра растворили в 122,5 мл раствора азотной кислоты с массовой долей кислоты 50 % и плотностью 1,44 г/мл, при этом выделилось 8,96 л смеси двух газов с плотностью 1,875 г/л (н.у.). Определите массу растворившегося серебра и массовые доли веществ в конечном растворе.
240. В 140 мл азотной кислоты с массовой долей кислоты 50% и плотностью 1,44 г/мл растворили некоторое количество серебра. При этом выделилось 6,72 л (н.у.) газовой смеси с плотностью по воздуху 1,402. Определите массовые доли веществ в полученном растворе.
241. Некоторое количество серебра растворили в 96,2 мл раствора азотной кислоты с массовой долей кислоты 50 % и плотностью 1,31 г/мл в результате чего выделилось 4,48 л смеси газов и остался раствор, в котором массовая доля азотной кислоты составила 18,2 %. Определите массу растворенного серебра и состав выделившейся смеси газов.
242. Какой объем раствора гидроксида калия с массовой долей щелочи 34 % и плотностью 1,37 г/мл потребуется для растворения кремния, получившегося в результате длительного прокалывания смеси 19,8 г магнезия с 18,9 г оксида кремния (IV)?

243. Раствор очень разбавленной азотной кислоты с плотностью 1,02 г/мл разделили на три равные части, к каждой из которых добавили образцы Mg, Ca и Zn равной массы. Определите молярные концентрации веществ в полученных растворах, если известно, что в результате растворения магния было получено 922 мл раствора с плотностью 1,025 г/мл, а суммарная молярная концентрация ионов в этом растворе была на 20 % меньше соответствующей концентрации ионов в исходном растворе азотной кислоты. Изменениями объема растворов в результате реакций пренебречь.
244. Раствор очень разбавленной азотной кислоты с плотностью 1,0267 г/мл разделили на три равные части, к каждой из которых добавили образцы Mg, Ca и Zn равной массы. Определите молярные концентрации веществ в полученных растворах, если известно, что в каждом из них массы соли с наименьшей молярной массой оказались различными. При растворении кальция было получено 605,8 мл раствора с плотностью 1,04 г/мл, а суммарная молярная концентрация ионов в этом растворе была на 25 % меньше соответствующей концентрации ионов в исходном растворе азотной кислоты. Изменениями объема растворов в результате реакций пренебречь.

### 3.2.2. Растворение сложных веществ

245. Сколько г оксида серы (VI) надо растворить в растворе серной кислоты с массовой долей кислоты 98%, чтобы получить 100 г олеума, в котором содержание серы как элемента составляет 34,96 %? Какова массовая доля оксида серы (VI) в этом олеуме?
246. При обжиге 4,465 т руды, содержащей сульфид железа (II), пирит и 14 % не окисляющихся примесей, образовалось 3,825 т твердого остатка. Какой объем раствора серной кислоты с массовой долей кислоты 95 % и плотностью 1,8 г/мл можно получить из выделившихся при обжиге газов?
247. Фосфор, полученный восстановлением 221,4 кг фосфорита, содержащего 30 % примесей, сожгли в избытке кислорода, и продукт сгорания растворили в 138,6 л аммиачной воды с массовой долей аммиака 20% и плотностью 0,92 г/мл. Определите массовые доли веществ в полученном растворе.
248. Азотно-водородную смесь пропустили над железным катализатором, при этом ее плотность увеличилась на 44,8 %. Определите массовые доли веществ в растворе, полученном при пропускании 10 л конечной газовой смеси через 87,5 мл раствора фосфорной кислоты с массовой долей кислоты 8 % и плотностью 1,05 г/мл.
249. Рассчитайте массовые доли веществ в растворе, образующемся при добавлении к 200 мл раствора фосфата калия с массовой долей соли 20% и плотностью 1,06 г/мл такого количества оксида фосфора (V), при растворении которого в 50 г раствора фосфорной кислоты ее массовая доля увеличивается с 20 до 69 %.
250. Газ, образовавшийся в результате прокаливании 29,2 г смеси гидрокарбоната натрия и карбоната меди, количественно прореагировал с 200 мл водного раствора с массовой долей фенолята натрия 10 % и плотностью 1,16 г/мл. Определите массу остатка после прокаливании.
251. 64,85 г смеси карбонатов меди и свинца прокалили. Выделившийся газ пропустили через 212,1 мл раствора гидроксида калия с массовой долей щелочи 12 % и плотностью 1,1 г/мл. Определите массы веществ в исходной смеси солей, если известно, что массовая доля кислой соли в полученном растворе равна 8,04 %.

252. В 50 мл метанола (плотность 0,79 г/мл) растворили такое количество лития, что массовая доля алкоголята в полученном растворе составила 36,28 %. К полученному раствору добавили 20 мл воды и пропустили в него 6,72 л оксида углерода (IV). Определите массовые доли веществ в конечной смеси.
253. Газ, выделившийся в результате спиртового брожения 100 г глюкозы, пропустили через 704,8 мл известкового молока с массовой долей гидроксида кальция 8 % и плотностью 1,05 г/мл. Осадок отделили от раствора и прокалили. Определите массовую долю вещества в полученном растворе и массу остатка после прокаливания. (Выход в реакции брожения глюкозы составляет 90%).
254. Газ, полученный в результате обжига пирита, растворили в 136,4 мл раствора гидроксида натрия с массовой долей щелочи 8 % и плотностью 1,1 г/мл, после чего образовался раствор с равными молярными концентрациями кислой и средней соли. Определите массу использованного пирита, если известно, что выход в процессе обжига составил 80 %.
255. Газ, образовавшийся в результате нагревания железа в избытке концентрированной серной кислоты, пропустили через 14,79 мл раствора сульфита калия с плотностью 1,08 г/мл и массовой долей соли 0,178. При этом образовался раствор с равными молярными концентрациями двух солей. Определите массу прореагировавшего железа и массовые доли веществ в конечном растворе.
256. Массовая доля водорода как элемента в смеси метана и метиламина составляет 0,221. Какой объем этой смеси (н.у.) надо пропустить через 43,75 мл 20 %-ной (по массе) серной кислоты с плотностью 1,4 г/мл, чтобы всю кислоту перевести в кислую соль?
257. 67,86 г бензола обработали нитрующей смесью. После обработки получилось два слоя: органический, содержащий нитробензол и не прореагировавший бензол, и водный, массой 123 г и содержащий 18% азотной кислоты, 61 % серной кислоты и 21 % воды (по массе). Вычислите массовые доли веществ в исходной нитрующей смеси, если выход в реакции нитрования составил 70 %.
258. 100 г бензола обработали 150 мл смеси азотной и серной кислот с плотностью 1,6 г/мл и массовой долей серной кислоты 50 %. После проведения реакции массовая доля серной кислоты в неорганическом слое увеличилась до 61,54 %. Органический слой подвергли восстановлению в присутствии железных стружек и соляной кислоты, причем выход в этой реакции составил 80 %. Определите массу полученного продукта и выход его в расчете на исходный бензол, учитывая, что на первой стадии образуется только мононитропроизводное.
259. После обработки 64,4 г толуола смесью растворов азотной и серной кислот образовалась смесь ди- и тринитротолуола. Определите выход каждого из двух продуктов нитрования в расчете на исходный толуол, если известно, что масса раствора смеси кислот после проведения нитрования уменьшилась на 45 г.
260. Некоторое количество толуола обработали 200 мл смеси растворов азотной и серной кислот с плотностью 1,5 г/мл и массовой долей серной кислоты 60 %. В результате было получено 77,5 г смеси динитротолуола и тринитротолуола, причем массовая доля серной кислоты в неорганическом слое увеличилась до 67,04 %. Определите массу взятого толуола.
261. 48,6 г целлюлозы обработали 252 г раствора, содержащего азотную (массовая доля 40%) и серную (массовая доля 50 %) кислоты. Определите массы образовавшихся динитрата и тринитрата целлюлозы, если известно, что массовая доля серной кислоты в растворе при этом увеличилась до 58,33 %.

262. В раствор, содержащий азотную (массовая доля 40%) и серную (массовая доля 50%) кислоты, поместили 97,2 г целлюлозы. Определите массы образовавшихся динитрата и тринитрата целлюлозы, если известно, что массовая доля серной кислоты в растворе при этом увеличилась до 58,33 %, а масса азотной кислоты в нем уменьшилась до 100,8 г.
263. В 200 мл раствора натриевой соли глицина с массовой долей соли 9,7 % и плотностью 1 г/мл пропустили 6,72 л хлороводорода (н.у.). Рассчитайте массовые доли веществ в полученном растворе.
264. 18,9 г хлоруксусной кислоты обработали 22,67 мл водного раствора с массовой долей аммиака 25 % и плотностью 0,9 г/мл. К полученной смеси добавили 46,98 мл раствора гидроксида натрия с массовой долей щелочи 20 % и плотностью 1,22 г/мл и нагрели. Определите объем выделившегося газа и массовые доли веществ в растворе, оставшемся после нагревания (потерями воды при нагревании пренебречь).
265. 27,12 г  $\alpha$ -хлорпропионовой кислоты растворили в 100 мл водного раствора аммиака с массовой долей 10% и плотностью 0,952 г/мл. После окончания реакции полученный раствор обработали 145,4 мл раствора гидроксида натрия с массовой долей щелочи 10% и плотностью 1,1 г/мл и нагрели. Определите объем выделившегося при этом газа и состав оставшегося раствора в массовых долях. Потерями воды при нагревании пренебречь.
266. В 100 мл раствора аммиака с плотностью 0,95 г/мл растворили 14,175 г хлоруксусной кислоты. После окончания химических реакций к полученному раствору добавили 90,91 мл раствора гидроксида натрия с массовой долей щелочи 0,1 и плотностью 1,1 г/мл и нагревали до окончания выделения газа. Определите массовую долю аммиака в исходном растворе и массовые доли веществ в оставшемся растворе, если известно, что при нагревании выделилось 4,48 л газа (н.у.) .
267. 28,35 г хлоруксусной кислоты растворили в 50 мл раствора аммиака с плотностью 0,9 г/мл. После окончания химических реакций к полученному раствору добавили 50 мл раствора гидроксида калия с массовой долей щелочи 0,4 и плотностью 1,4 г/мл и нагревали до окончания выделения газа. Определите массовую долю аммиака в исходном растворе и массовые доли веществ в оставшемся растворе, если известно, что при нагревании выделилось 8,96 л газа (н.у.).
268. В 100 мл раствора аммиака с массовой долей растворенного вещества 26,4 % и с плотностью 0,9 г/мл растворили некоторое количество хлоруксусной кислоты. После окончания химических реакций к полученному раствору добавили 100 мл раствора гидроксида калия с массовой долей щелочи 0,4 и плотностью 1,4 г/мл и нагревали до окончания выделения газа. Определите массу взятой хлоруксусной кислоты и массовые доли веществ в оставшемся растворе, если известно, что при нагревании выделилось 17,92 л газа (н.у.). (Испарением воды при нагревании пренебречь).

### 3.2.3. Растворение сплавов и смесей

269. 8,85 г сплава магния с алюминием растворили в 84,75 мл раствора соляной кислоты с массовой долей хлороводорода 36,5 % и плотностью 1,18 г/мл, в результате чего выделилось 9,52 л газа (н.у.). К полученному раствору добавили 486 мл раствора гидроксида калия с массовой долей щелочи 11 % и плотностью 1,1 г/мл. Выпавший осадок удалили. Определите массовые доли веществ в конечном растворе. Растворимость гидроксида магния в воде пренебречь.

270. 12,8 г сплава натрия с бериллием нагревали с 9,05 г соляной кислоты с плотностью 1,18 г/мл до окончания всех химических реакций. Определите состав исходного сплава (в массовых долях) если известно, что объем выделившегося газа (н.у.) оказался в 1022 раз больше объема взятой кислоты, и что продукты реакции содержали некоторое количество бериллия.
271. 47 г смеси оксида фосфора (V) и фосфата натрия, в которой массовая доля фосфора как элемента составляет 26,38 %, растворили в 500 мл воды. Определите массовые доли веществ в полученном растворе.
272. 81,33 г смеси оксида фосфора (V) и фосфата калия, в которой массовая доля кислорода как элемента составляет 38,894 % растворили в 1 л воды. Определите массовые доли веществ в полученном растворе.
273. Два из трех веществ (магний, карбид кальция, карбонат кальция) смешали и эту смесь обработали таким объемом соляной кислоты с массовой долей хлороводорода 0,1, который содержит количество хлороводорода в 2,5 раза большее общего количества веществ в смеси. Определите массовые доли веществ в образовавшемся растворе, если известно, что при действии такого же количества соляной кислоты на образец третьего вещества, масса которого равна 9,6 г и равна массе смеси, выделился такой же объем газа.
274. Смесь двух из трех веществ (медь, карбонат натрия, сульфит лития) массой 63,6 г обработали избытком концентрированной серной кислоты. Определите состав выделившегося при этом газа (в процентах по объему), если известно, что при обработке образца третьего вещества такой же массы выделилось такой же объем газа. Все объемы измерены при одинаковых условиях.
275. Смесь двух из трех веществ (сера, карбонат натрия, хлорид натрия) массой 17,55 г при нагревании обработали избытком концентрированной серной кислоты. Определите состав выделившегося при этом газа (в процентах по объему), если известно, что при обработке образца третьего вещества той же массы выделилось такой же объем газа. Все объемы измерены при одинаковых условиях.
276. 29,4 г смеси бензола с толуолом обработали 120 мл раствора смеси азотной и серной кислот с плотностью 1,5 г/мл и массовой долей серной кислоты 40%. После проведения реакции массовая доля серной кислоты в неорганическом слое увеличилась до 42,78%. Определите массовые доли веществ в исходной смеси углеводородов, если известно, что реакции протекают только до мононитропроизводных, а выходы в реакциях нитрования бензола и толуола составляют 70% и 80% соответственно.
277. 24,8 г смеси бензола с толуолом, в которой массовая доля водорода как элемента составляет 8,065 %, обработали 60 мл раствора смеси азотной и серной кислот с плотностью 1,55 г/мл, в которой массовая доля серной кислоты составляла 60%, в результате чего массовая доля серной кислоты увеличилась до 67,54 %, а содержание нитробензола в органическом слое составило 53,33 % (по массе). Определите выходы в реакциях нитрования бензола и толуола, учитывая, что реакции в данных условиях идут только до мононитропроизводных.
278. После растворения продуктов сжигания некоторого количества смеси этилбензола с его изомерами в избытке раствора гидроксида бария масса раствора уменьшилась на 34,02 г. Определите массовую долю этилбензола в этой смеси, если известно, что на нейтрализацию органических продуктов окисления такого же количества этой смеси потребовалось 8 мл раствора гидроксида натрия с массовой долей щелочи 0,2 и плотностью 1,25 г/мл.

279. Продукты сжигания некоторого количества смеси этилбензола с его изомерами растворили в избытке раствора гидроксида бария. Масса раствора при этом уменьшилась на 17,01 г. Определите массовую долю этилбензола в этой смеси, если известно, что на нейтрализацию органических продуктов окисления такого же количества этой смеси перманганатом калия потребовалось 7,21 мл раствора гидроксида натрия с массовой долей щелочи 0,125 и плотностью 1,11 г/мл.
280. Смесь метиловых эфиров уксусной и пропионовой кислот массой 47,2 г обработали 83,4 мл раствора гидроксида натрия с плотностью 1,2 г/мл и массовой долей щелочи 40%. Определите массовые доли эфиров в исходной смеси, если известно, что гидроксид натрия, оставшийся после гидролиза эфиров, может поглотить максимум 8,96 л оксида углерода (IV).
281. В результате этерификации 29,8 г смеси уксусной и пропионовой кислот избытком метанола образовалось 5,4 г воды и 23,6 г смеси сложных эфиров. На нейтрализацию полученной в результате реакции смеси потребовалось 55 мл раствора гидроксида натрия с массовой долей щелочи 10 % и плотностью 1,09 г/мл. Определите выход каждого из образовавшихся сложных эфиров.
282. 15,2 г смеси муравьиной и уксусной кислот этерифицировали избытком этанола, в результате чего образовалось 15,92 г смеси сложных эфиров и 3,6 г воды. Определите выход каждого из сложных эфиров в расчете на соответствующую кислоту, если известно, что на нейтрализацию полученной реакционной смеси потребовалось 17,92 мл раствора гидроксида калия с массовой долей щелочи 25 % и плотностью 1,25 г/мл.
283. На гидрирование 783,9 г жира, содержащего остатки только пальмитиновой и олеиновой кислот, потребовалось 50,41 л водорода (н.у.). Полученный жир при нагревании обработали 1,82 л раствора гидроксида натрия с массовой долей щелочи 10 % и с плотностью 1,1 г/мл. Определите массовые доли веществ в полученной смеси.
284. В результате полного гидрирования смеси жиров, содержащих только остатки пальмитиновой и линолевой кислот было получено 788,4 г твердого вещества, при это было затрачено 100,82 л водорода (н.у.). Полученное вещество при нагревании обработали 1,82 л раствора гидроксида натрия с массовой долей щелочи 10 % и с плотностью 1,1 г/мл. Определите массовые доли веществ в полученной смеси.
285. 4,37 г смеси фенола, метилакрилата и этилметакрилата количественно прореагировали с 10,4 г брома. Полученные органические вещества нагревали с 54 мл водного раствора гидроксида натрия с массовой долей щелочи 10% и плотностью 1,111 г/мл до окончания всех химических реакций. Определите массовые доли веществ в конечном растворе, если известно, что массовая доля щелочи в нем составляла 1,9345 %.
286. Смесь фенола, метилакрилата и этилметакрилата массой 4,37 г обесцветила 198,1 мл бромной воды с массовой долей брома 5 % и плотностью 1,05 г/мл. Полученные органические вещества нагревали с 54 мл водного раствора гидроксида натрия с массовой долей щелочи 10% и плотностью 1,111 г/мл до окончания всех химических реакций. Определите массовые доли веществ в конечном растворе, если известно, что массовая доля щелочи в нем составляла 1,9345 %.
287. Смесь фенола и анилина полностью прореагировала с 480 г бромной воды с массовой долей брома 3%. На нейтрализацию продуктов реакции потребовалось 36,4 мл раствора гидроксида натрия с массовой долей щелочи 10% и плотностью 1,1 г/мл. Определите массовые доли веществ в исходной смеси.

288. 4,42 г смеси фенола, анилина и стирола количественно прореагировали с 507 г бромной воды с массовой долей брома 3 %. На нейтрализацию продуктов реакций потребовалось 27 мл раствора гидроксида натрия с массовой долей щелочи 12 % и плотностью 1,11 г/мл. Определите массовые доли веществ в исходной смеси.
289. В результате нейтрализации продуктов маслянокислого брожения глюкозы раствором гидроксида натрия с массовой долей щелочи 40 % был получен раствор, содержащий 10 г гидроксида натрия и имеющий массовую долю воды 53,35 %. Определите выход масляной кислоты, если известно, что брожению подвергалось 750 мл раствора глюкозы с концентрацией 0,75 моль/л.
290. Продукты, образовавшиеся в результате маслянокислого брожения глюкозы, обработали 38 мл раствора гидроксида натрия с массовой долей щелочи 0,1 и плотностью 1,105 г/мл и получили раствор с массовой долей ионов натрия 4,817%. Определите массу глюкозы, подвергнувшейся брожению, и массовые доли веществ в конечном растворе.
291. Некоторое количество глюкозы разделили на две равные части. Одну из них подвергли спиртовому, а другую маслянокислому брожению. Полученные продукты растворили в растворе гидроксида натрия с массовой долей щелочи 40 % и получили раствор, содержащий 8,8 г гидроксида натрия и имеющий массовую долю воды 52,12 %. Определите массу взятой глюкозы и массовые доли веществ в конечном растворе, если известно, что реакция спиртового брожения прошла с выходом 80 %, а реакция маслянокислого брожения с выходом 40 %.

### 3.2.4. Смешивание растворов

292. Продукты сгорания смеси фосфина с сероводородом в избытке кислорода растворили в 100 мл воды. На полную нейтрализацию полученного раствора потребовалось 140 мл раствора гидроксида натрия с массовой долей щелочи 0,4 и плотностью 1,429 г/мл. Рассчитайте молярные концентрации веществ в исходной газовой смеси при нормальных условиях, если известно, что массовая доля воды в конечном растворе равна 77,224 %.
293. Рассчитайте массовые доли веществ в растворе, образующемся в результате сливания 64,55 мл раствора гидрофосфата натрия с массовой долей соли 20 % и плотностью 1,1 г/мл с 113,33 мл раствора нитрата серебра с массовой долей соли 40 % и плотностью 1,5 г/мл.
294. Продукты сгорания 4,48 л фосфина (н.у) растворили в 109 мл раствора гидроксида натрия с массовой долей щелочи 0,1 и плотностью 1,101 г/мл. К полученному раствору добавили 570 мл раствора нитрата серебра с массовой долей соли 20% и плотностью 1,193 г/мл. Рассчитайте массовые доли веществ в полученном растворе.
295. В 100 г этанола растворили такое количество натрия, что массовая доля этилата натрия в полученном растворе стала 19,14 %. К этому раствору добавили 90 мл 19,6 %-ной (по массе) фосфорной кислоты с плотностью 1,111 г/мл. Определите массовые доли веществ в конечном растворе.
296. В некотором количестве метанола растворили металлический натрий, при этом выделилось 2,8 л газа (н.у.). Полученный раствор, массовая доля метилата натрия в котором составила 20 %, смешали с 68,18 мл раствора фосфорной кислоты с

массовой долей кислоты 13,07 % и плотностью 1,1 г/мл. Определите массовые доли веществ в конечном растворе.

297. Некоторое количество лития растворили в 100 г метанола и получили раствор с массовой долей алкоголята 35,85%. К полученному раствору добавили 100 мл воды и 41,3 г смеси оксида фосфора (У) и оксида серы (УІ), в которой массовая доля кислорода как элемента составляла 58,11%. Определите массу растворенного лития и массовые доли веществ в конечном растворе, учитывая, что фосфат лития нерастворим, дигидрофосфат хорошо растворим, а гидрофосфат лития в растворе не существует.
298. Некоторое количество лития растворили в 50 г метанола и получили раствор с массовой долей спирта 67,55 %. К этому раствору добавили 80 мл воды и 15,2 г смеси высших оксидов фосфора и серы, в которой массовая доля кислорода как элемента составляет 58,278 %. Определите массовые доли веществ в конечном растворе, учитывая, что фосфат лития нерастворим, дигидрофосфат хорошо растворим, а гидрофосфат лития в растворе не существует.

### 3.2.5. Растворимость

299. Определите значение коэффициента растворимости сульфата меди и молярную концентрацию ионов меди в насыщенном растворе, если известно, что при данной температуре при растворении 40 г медного купороса в 80 г раствора сульфата меди с массовой долей соли 5% образуется раствор с плотностью 1,2 г/мл и остается 20 г не растворившегося осадка.
300. Раствор, полученный сливанием 88,5 мл раствора гидроксида натрия с массовой долей щелочи 12% и плотностью 1,13 г/мл и 132,4 мл раствора ортофосфорной кислоты с массовой долей кислоты 20% и плотностью 1,11 г/мл, охладили до 20°C. При этом часть образовавшейся соли выпала в виде двенадцативодного кристаллогидрата. Определите массу выпавшего осадка и массовую долю соли в оставшемся растворе, если известно, что коэффициент растворимости кристаллогидрата при 20°C равен 227 г/л.
301. Продукты сжигания 6,72 л (н.у.) фосфина растворили при нагревании в 188,7 мл раствора гидроксида натрия с массовой долей щелочи 6 % и плотностью 1,06 г/мл. После охлаждения раствора до 15°C часть образовавшейся соли выпала из раствора в виде двенадцативодного кристаллогидрата. Определите массу осадка и массовую долю соли в оставшемся растворе, если коэффициент растворимости кристаллогидрата при 15°C равен 200 г/л.
302. 28 л оксида углерода (IV) (н.у.) растворили в 100 мл раствора гидроксида натрия с массовой долей щелочи 40 % и плотностью 1,4 г/мл. Определите массу выпавшего гидрокарбоната натрия и массовые доли веществ в оставшемся растворе, если растворимость гидрокарбоната натрия в этих условиях составляет 10 г на 100 г воды.
303. Какой объем оксида углерода (IV) (н.у.) надо растворить в 100 мл раствора гидроксида натрия массовой долей щелочи 40 % и с плотностью 1,4 г/мл, чтобы из него выпало 84 г гидрокарбоната натрия, если известно, что его растворимость в этих условиях составляет 10 г на 100 г воды.
304. В 100мл раствора гидроксида натрия с массовой долей щелочи 0,2 и плотностью 1,2 г/мл пропустили 11,2 л (н.у.) оксида углерода (IV). Определите массу выпавшего из раствора гидрокарбоната натрия и массовые доли веществ в оставшемся

- растворе, если известно, что коэффициент растворимости гидрокарбоната натрия в этих условиях составляет 90 г/л ( $\text{H}_2\text{O}$ ).
305. Продукты сжигания 7 л бутана (н.у.) в избытке кислорода растворили в 100 мл раствора гидроксида натрия с массовой долей щелочи 40% и плотностью 1,4 г/мл. Определите массу выпавшего осадка и массовые доли веществ в оставшемся растворе, если известно, что в данных условиях растворимость карбоната натрия и гидрокарбоната натрия составляют 22 и 9,5 г на 100 г воды соответственно.
306. Продукты сгорания 3,584 л (н.у.) триметиламина в избытке кислорода растворили в 51,43 мл раствора гидроксида натрия с массовой долей щелочи 0,4 и плотностью 1,4 г/мл. Определите массу осадка и состав оставшегося раствора, если известно, что растворимости гидрокарбоната натрия и карбоната натрия в этих условиях составляют 9 г и 20 г безводной соли на 100 г воды соответственно, а карбонат натрия кристаллизуется из раствора в виде десятиводного кристаллогидрата.
307. В 500 мл насыщенного раствора карбоната натрия с плотностью 1,15 г/мл пропустили 20,16 л оксида углерода (IV). Определите массу выпавшего из раствора гидрокарбоната натрия и массовые доли веществ в оставшемся растворе, если в данных условиях коэффициенты растворимости карбоната и гидрокарбоната натрия равны 250 и 99 г/л( $\text{H}_2\text{O}$ ) соответственно.
308. В 100 мл горячей концентрированной серной кислоты с массовой долей кислоты 95% и плотностью 1,83 г/мл растворили некоторое количество меди. Полученный раствор охладили до  $20^\circ\text{C}$ , при этом из него выпало 25 г медного купороса. Определите массу растворенной меди и массовую долю серной кислоты в растворе после его охлаждения, если известно, что растворимость сульфата меди при  $20^\circ$  в данных условиях составляет 21 г на 100 г растворителя.
309. 19,2 г меди растворили в 282,5 мл 20%-ной азотной кислоты с плотностью 1,115 г/мл, полученный раствор выпарили так, что его масса уменьшилась в три раза, и охладили. При этом из раствора выпало некоторое количество шестиводного кристаллогидрата нитрата меди. Определите массу осадка и массовые доли веществ в оставшемся растворе, если известно, что растворимость безводной соли в данных условиях составляет 50 г на 100 г воды. (Потерями азотной кислоты при выпаривании пренебречь).
310. Некоторое количество цинка растворили в 95,08 мл раствора серной кислоты с массовой долей кислоты 39,64 % и плотностью 1,3 г/мл, в результате чего выделилась смесь двух газов с плотностью по воздуху 0,3276. После охлаждения из полученного раствора выпало 28,7 г семиводного кристаллогидрата сульфата цинка. Определите массу растворенного цинка, если известно, что растворимость сульфата цинка составляет 52,1 г безводной соли на 100 г воды.
311. Через 30 мл раствора гидроксида калия с массовой долей щелочи 0,4 и плотностью 1,4 г/мл пропустили при нагревании 2,688 л хлора (н.у.). Полученный раствор охладили до  $20^\circ\text{C}$ , после чего выпало некоторое количество осадка. Определите массы веществ, выпавших в осадок и молярные концентрации веществ в оставшемся растворе, если известно, что его плотность равна 1,2 г/мл, а растворимости образовавшихся солей в данных условиях составляют 34,2 и 7,3 г на 100 г воды в порядке возрастания молярной массы соответственно.
312. В 200 мл насыщенного раствора хлорида натрия с плотностью 1,2 г/мл пропустили 15,68 л смеси аммиака и оксида углерода (IV) с плотностью по водороду 15,25. Определите массу выпавшего при этом гидрокарбоната натрия и массовые доли веществ в оставшемся растворе, если известно, что в данных условиях коэффици-

енты растворимости хлорида натрия и гидрокарбоната натрия равны 358 и 99 г/л( $H_2O$ ) соответственно.

313. В 78 мл раствора хлорида натрия с массовой долей соли 25% и плотностью 1,2 г/мл пропустили 13,44 л смеси аммиака и оксида углерода (IV) с плотностью 1,362 г/л (н.у.), в результате чего из раствора выпало некоторое количество гидрокарбоната натрия, и остался раствор с плотностью 1,15 г/мл. Определите молярные концентрации ионов, присутствующих в конечном растворе, если известно, что растворимость гидрокарбоната натрия в этих условиях составляет 9,9 г на 100 г воды. (Процессами гидролиза и процессом диссоциации гидрокарбонат-иона пренебречь).
314. В 141 мл раствора хлорида натрия с массовой долей соли 26% и плотностью 1,197 г/мл пропустили 40,32 л смеси аммиака и оксида углерода (IV) с плотностью, равной плотности кислорода, в результате чего из раствора выпало некоторое количество осадка, и остался раствор с плотностью 1,15 г/мл. Определите массу осадка и молярные концентрации ионов, присутствующих в конечном растворе, если известно, что растворимости карбоната аммония, гидрокарбоната аммония, хлорида аммония и гидрокарбоната натрия в этих условиях составляют 100, 21,6, 27 и 9,9 г на 100 г воды соответственно. (Процессами гидролиза и процессом диссоциации гидрокарбонат-иона пренебречь).
315. 352 мл раствора хлорида кальция с массовой долей соли 6% и плотностью 1,051 г/мл смешали с 251 мл раствора сульфата натрия с массовой долей соли 8% и плотностью 1,06 г/мл, в результате чего из раствора выпало некоторое количество гипса. Определите массу осадка, если коэффициент растворимости сульфата кальция в данных условиях равен 2,5 г/л( $H_2O$ ).
316. 589,3 мл раствора хлорида бария с массовой долей соли 0,25 и плотностью 1,2 г/мл смешали с 354 мл раствора нитрата аммония с массовой долей 0,3 и плотностью 1,13 г/мл, в результате чего из раствора выпало некоторое количество нитрата бария. Определите молярную концентрацию ионов бария в конечном растворе, если его плотность равна 1,1 г/мл, а коэффициент растворимости нитрата бария в этих условиях равен 90,5 г/л( $H_2O$ ).
317. Определите массу осадка, выпавшего после сливания 80 мл насыщенного раствора хлорида бария (плотность 1,25 г/мл) и 100 г раствора нитрата натрия с массовой долей соли 40%, если известно, что в данных условиях коэффициенты растворимости двуводного кристаллогидрата хлорида бария, нитрата бария и хлорида натрия соответственно равны 288, 90,5 и 330 г/л( $H_2O$ ).
318. Определите молярные концентрации ионов, присутствующих в растворе, полученном после смешения равных объемов насыщенных растворов нитрата меди (плотность 1,5 г/мл) и сульфата лития (плотность 1,3 г/мл) и удаления выпавшего осадка медного купороса, если известно, что коэффициенты растворимости в данных условиях нитрата меди, сульфата лития и медного купороса равны 1252, 344 и 207 г/л( $H_2O$ ) соответственно, а плотность конечного раствора равна 1,4 г/мл.
319. 18,45 г нитробензола перемешивали с 124,7 мл соляной кислоты с массовой долей хлороводорода 36,5% и плотностью 1,17 г/мл и с 33,6 г железных опилок до окончания всех химических реакций. В полученный раствор пропустили 44,8 л аммиака (н.у.). Выпавший осадок отфильтровали, а выделившийся из раствора анилин отделили. Определите массы и массовые доли веществ в оставшемся водном растворе, если известно, что растворимость анилина и хлорида аммония в данных условиях составляют 3 и 60 г на 100 г воды соответственно. Выход во всех реакциях считать 100%.

320. Нитробензол, полученный из 7,8 г бензола, перемешивали с 102,6 мл соляной кислоты с массовой долей кислоты 36,5 % и плотностью 1,17 г/мл и с 22,4 г железных опилок до окончания всех реакций. В полученный раствор пропустили 26,88 л аммиака (н.у.), осадок отфильтровали, а выделившийся из раствора анилин отделили. Определите массы веществ, выделившихся из раствора, если известно, что растворимость анилина и хлорида аммония в данных условиях составляют 3 г и 60 г на 100 г воды соответственно.
321. Нитробензол, полученный с выходом 75% из 15,6 г бензола, добавили к 128,2 мл соляной кислоты с массовой долей хлороводорода 36,5 % и плотностью 1,17 г/мл. Туда же поместили 33,6 г железных опилок, и смесь перемешивали до полного окончания всех химических реакций. В полученный раствор пропустили 33,6 л (н.у.) аммиака. Определите массы веществ, выделившихся после этого из раствора, если известно, что растворимость анилина и хлорида аммония в данных условиях составляют 3 г и 60 г на 100 г воды соответственно.
322. К 102,6 мл соляной кислоты с массовой долей кислоты 36,5 % и плотностью 1,17 г/мл добавили нитробензол, полученный с выходом 78% из 10 г бензола, и 22,4 г железных опилок. Смесь перемешивали до окончания всех реакций. В полученный раствор пропустили 26,88 л аммиака (н.у.), осадок отфильтровали, а выделившийся из раствора анилин отделили. Определите массы веществ, выделившихся из раствора, если известно, что растворимость анилина и хлорида аммония в данных условиях составляют 3 г и 60 г на 100 г воды соответственно.
323. 20,4 г фенилового эфира уксусной кислоты обработали при нагревании 120 мл раствора гидроксида натрия с массовой долей щелочи 20% и плотностью 1,23 г/мл. Полученный раствор охладили и в него пропускали углекислый газ до насыщения. Определите состав конечного водного раствора в массовых долях, если известно, что в данных условиях растворимость фенола, ацетата натрия, карбоната натрия и гидрокарбоната натрия в 100 г воды составляют 7,9, 148, 25 и 9,5 г соответственно.
324. 13,6 г фенилового эфира уксусной кислоты обработали при нагревании 80 мл раствора гидроксида натрия с массовой долей щелочи 20% и плотностью 1,23 г/мл. Полученный раствор охладили и в него пропускали углекислый газ до насыщения. Определите состав конечного водного раствора в массовых долях, если известно, что в данных условиях растворимость фенола, ацетата натрия, карбоната натрия и гидрокарбоната натрия в 100 г воды составляют 7,9, 148, 25 и 9,5 г соответственно.
325. Некоторое количество фенилового эфира уксусной кислоты обработали при нагревании 120 мл раствора гидроксида натрия с массовой долей щелочи 20% и плотностью 1,23 г/мл. Полученный раствор охладили и в него пропускали углекислый газ до насыщения. Определите состав конечного водного раствора в массовых долях и массу исходного фенилацетата, если известно, что в данных условиях растворимость фенола, ацетата натрия, карбоната натрия и гидрокарбоната натрия в 100 г воды составляют 7,9; 19,4; 25 и 9,5 г соответственно, а из конечного раствора выпало 38,18 г гидрокарбоната натрия.

### 3.2.6. Последовательно соединенные промывные сосуды

326. Через два последовательно соединенных промывных сосуда, в первом из которых содержалось 250 г раствора карбоната натрия, а во втором 100 г раствора гидроксида натрия, пропустили 33,6 л (н.у.) смеси хлороводорода с азотом с плотностью по водороду 14,85. Определите массовые доли веществ в исходных растворах, если известно, что в первом сосуде образовался раствор с равными массовыми долями

двух солей, а во втором — раствор с равными молярными концентрациями двух солей.

327. Через два последовательно соединенных промывных сосуда, в первом из которых содержалось 120 г раствора карбоната калия, а во втором 60 г раствора гидроксида калия, пропустили 16,8 л (н.у.) смеси хлороводорода с азотом с плотностью 1,326 г/л (н.у.). Определите массовые доли веществ в исходных растворах, если известно, что в первом сосуде образовался раствор, в котором молярная концентрация соли с меньшей молярной массой в 3 раза больше концентрации второй соли, а во втором – раствор с равными массовыми долями двух солей.
328. Смесь аргона с бромоводородом с плотностью по воздуху 1,615 пропускали через два последовательно соединенных промывных сосуда, каждый из которых содержал по 150 мл раствора карбоната калия с плотностью 1,1 г/мл и молярной концентрацией соли 1 моль/л. Газ перестали пропускать, как только молярные концентрации кислых солей в двух сосудах сравнялись. Определите объем пропущенной газовой смеси (н.у.) и массовые доли веществ в полученных растворах. (Изменениями объема растворов пренебречь).
329. Через два последовательно соединенных промывных сосуда, в первом из которых содержалось 133,9 мл раствора сульфида калия с массовой долей соли 22 % и плотностью 1,12 г/мл, а во втором 144 мл раствора сульфата меди с концентрацией соли 1,736 моль/л и плотностью 1,2 г/мл, пропускали смесь хлороводорода с азотом с плотностью 1,3 г/л (н.у.). Газ перестали пропускать, как только массы растворов сравнялись. Определите объем пропущенного газа (н.у.) и массовые доли веществ в полученных растворах.
330. Через два последовательно соединенных промывных сосуда, каждый из которых содержал по 150 мл раствора сульфида калия с плотностью 1,1 г/мл и молярной концентрацией соли 1 моль/л, пропускали смесь азота с хлороводородом с плотностью по водороду 14,5. Газ перестали пропускать, как только молярные концентрации кислых солей в двух сосудах сравнялись. Определите объем пропущенной газовой смеси (н.у.) и массовые доли веществ в полученных растворах. (Изменениями объема растворов пренебречь).
331. Через два последовательно соединенных промывных сосуда, в первом из которых содержалось 265,9 мл раствора сульфида натрия с массовой долей соли 0,08 и плотностью 1,1 г/мл, а во втором 250 мл раствора сульфата меди с концентрацией соли 1 моль/л и плотностью 1,15 г/мл, пропускали смесь хлороводорода с азотом с плотностью 1,317 г/л (н.у.). Газ перестали пропускать, как только масса второго раствора уменьшилась на столько же, на сколько увеличилась масса первого. Определите объем пропущенного газа (н.у.) и массовые доли веществ в полученных растворах.
332. Смесь иодоводорода с аргоном, имеющую плотность по водороду 31,73, пропускали через два последовательно соединенных промывных сосуда, первый из которых содержал 200 мл раствора серной кислоты с массовой долей кислоты 68 % и плотностью 1,5 г/мл, а второй – 200 мл раствора сульфата меди с концентрацией соли 1,25 моль/л и плотностью 1,2 г/мл. К моменту окончания пропускания газа масса раствора во втором сосуде уменьшилась на 12,4 г. Определите объем пропущенного газа (н.у.) и массовые доли веществ в полученных растворах.
333. Через два последовательно соединенных промывных сосуда, первый из которых содержал 100 мл раствора серной кислоты с массовой долей кислоты 68 % и плотностью 1,5 г/мл, а второй – 100 мл раствора сульфата меди с концентрацией соли 1,25 моль/л и плотностью 1,2 г/мл, пропускали смесь иодоводорода с аргоном,

имеющую плотность по воздуху 1,72. К моменту окончания пропускания газа масса раствора во втором сосуде уменьшилась на 6,2 г. Определите объем пропущенного газа (н.у.) и массовые доли веществ в полученных растворах.

### 3.2.7. Смешивание растворов в различных соотношениях

334. В два стакана, каждый из которых содержит по 100 г раствора соляной кислоты с массовой долей кислоты 14,6 % добавили различные объемы раствора гидроксида натрия с молярной концентрацией щелочи 2 моль/л и плотностью 1,111 г/мл и получили два раствора, в каждом из которых массовая доля соли составила 6 %. После чего оба раствора смешали. Определите массовые доли веществ в конечном растворе.
335. Раствор гидроксида калия с молярной концентрацией щелочи 1,5 моль/л и плотностью 1,07 г/мл разделили на две неравные части, к каждой из которых добавили по 72,25 мл раствора азотной кислоты с массовой долей кислоты 0,16 и плотностью 1,09 г/мл. Молярная концентрация соли в каждом из полученных растворов оказалась равной 0,5 моль/л. Оба раствора смешали. Определите массовые доли веществ в конечном растворе. Изменениями объема растворов в результате протекания химических реакций пренебречь.
336. Раствор серной кислоты с концентрацией кислоты 1,095 моль/л и плотностью 1,073 г/мл разделили на три равные части. К первой части добавили 56,6 мл раствора гидроксида натрия с массовой долей NaOH 12,5 % и плотностью 1,131 г/мл и получили раствор с массовой долей соли 6,73 %, ко второй части добавили 200 мл такого же раствора щелочи и получили раствор с массовой долей соли 5,71 %. Какой объем такого же раствора щелочи надо добавить к третьей части, чтобы получить раствор с массовой долей соли 8,77 %? Какие еще вещества содержались в трех полученных растворах, и каковы их массовые доли?
337. Раствор гидроксида калия с концентрацией щелочи 1,5 моль/л и плотностью 1,07 г/мл разделили на три равные части. К первой части добавили 60 мл раствора бромоводорода с массовой долей HBr 12% и плотностью 1,125 г/мл и получили раствор с массовой долей соли 6,819 %, ко второй части добавили 150 мл такого же раствора бромоводорода и получили раствор с массовой долей соли 6,473 %. Какой объем такого же раствора бромоводорода надо добавить к третьей части, чтобы получить раствор с массовой долей соли 8,57 %? Какие еще вещества содержались в трех полученных растворах, и каковы их массовые доли?
338. К 100 мл раствора серной кислоты с плотностью 1,17 г/мл и молярной концентрацией кислоты 2,5 моль/л двумя равными порциями добавили раствор хлорида бария с массовой долей соли 20%. После добавления второй порции хлорида бария массовая доля хлороводорода в образовавшемся растворе составила 3,846 %. Определите массовые доли веществ в растворе, полученном после добавления первой порции хлорида бария, если известно, что массовая доля хлороводорода в нем больше, чем после добавления второй порции.
339. Раствор нитрата бария с молярной концентрацией соли 0,325 моль/л и плотностью 1,062 г/мл двумя равными порциями добавили к 161,4 мл раствора сульфата натрия с плотностью 1,2 г/мл и массовой долей соли 22 %. После добавления второй порции массовая доля нитрата натрия в образовавшемся растворе составила 2,9 %. Определите массовые доли веществ в растворе, полученном после добавления первой порции нитрата бария, если известно, что массовая доля нитрата натрия в нем больше, чем после добавления второй порции.

340. К каждому из двух растворов сульфата меди с массовой долей соли 0,2 разной массы добавили по 88 мл раствора сульфида натрия с массовой долей соли 0,15 и плотностью 1,182 г/мл, после чего массовые доли сульфата натрия в образовавшихся растворах оказались равны и составили 10%. Определите молярные концентрации веществ в конечных растворах, если известно, что их плотности составляли 1,1 г/мл.
341. Раствор сульфата меди с массовой долей соли 0,12 разделили на две неравные части. К каждой из них добавили по 88,6 мл раствора сульфида натрия с массовой долей соли 12 % и плотностью 1,1 г/мл, после чего массовые доли сульфата натрия в образовавшихся растворах оказались равны и составили 5%. Определите молярные концентрации веществ, присутствующих в конечных растворах, если известно, что их плотности составляли 1,1 г/мл.

### 3.2.8. Масса конечного раствора равна массе одного из исходных растворов

342. Раствор сульфида натрия смешали с раствором нитрата свинца, после чего масса образовавшегося раствора оказалась равной массе одного из исходных растворов. Определите массовые доли веществ в исходных и конечном растворах, если известно, что плотность конечного раствора равнялась 1,1 г/мл, а концентрации ионов натрия и нитрат-ионов в нем составляли 1,8 и 2,4 моль/л соответственно.
343. К некоторому количеству раствора нитрата ртути (II) добавили раствор гидрофосфата натрия и получили раствор, масса которого равна массе одного из исходных растворов. Определите массовые доли веществ, содержащихся в полученном и исходных растворах, если известно, что молярные концентрации ионов натрия и нитрат-ионов в конечном растворе относятся как 1 : 2, а массовая доля воды составляет 80,19%.
344. Некоторое количество раствора сульфата алюминия смешали с избытком насыщенного раствора гидрокарбоната бария и получили раствор, масса которого равна массе одного из исходных растворов. Полученный раствор отделили от осадка и кипятили до окончания химической реакции, конденсируя пары испаряющейся воды и возвращая ее в раствор. После охлаждения получили 1 л жидкости и 1,635 г твердого вещества. Определите массы исходных растворов и массовые доли веществ в них. Коэффициент растворимости гидрокарбоната бария равен 10 г/л.

### 3.2.9. Равные массовые доли ионов в растворе

345. В результате растворения четырех различных солей в воде был получен раствор, в котором массовые доли ионов аммония, натрия и калия, а также сульфат-ионов, оказались равны. Концентрация иодид-ионов составляла 0,2 моль/л, а концентрация нитрат-ионов более чем в 3,8 раза превышала концентрацию иодид-ионов. Определите массы солей, необходимые для приготовления 1 л такого раствора, если известно, что кроме перечисленных в растворе присутствовали ионы лития.
346. В 100 г раствора кислоты с массовой долей кислоты 10 % растворили некоторое количество газообразного амина, затем туда же добавили две соли и получили раствор, в котором массовые доли ионов хлорида, сульфата, иодида и алкиламмония равны между собой. Молярная концентрация ионов калия в нем была меньше молярной концентрации ионов натрия, а молярная концентрация ионов алкиламмония больше, чем молярная концентрация ионов натрия. Определите молярные концентрации веществ в полученном растворе, если известно, что плотность его равна 1,1 г/мл.

347. В раствор, содержащий только кислоту с массовой долей 8 %, поочередно добавили две соли, 100 мл воды и щелочь, в результате чего образовался раствор с плотностью 1,1 г/мл, в котором молярная концентрация гидроксид-ионов составила 0,2 моль/л. Определите массу исходного раствора и массы добавленных в него веществ, если известно, что в конечном растворе массовые доли ионов бария, цезия, стронция и нитрата равны между собой, а концентрация иодид-ионов больше концентрации хлорид-ионов.
348. К раствору соли бария с массовой долей соли 15 % добавили растворы нитрата и сульфата металлов с массовыми долями солей по 12 %. Определите массовые доли веществ в образовавшемся растворе, если известно, что в нем содержатся ионы бария, а массовые доли ионов калия, натрия и хлорид-ионов одинаковы.
349. Три соли, одна из которых была ацетатом металла, а вторая солью серебра, смешали и полученную смесь растворили в десятикратном по массе количестве воды, в результате чего было получен раствор, в котором массовые доли ионов кальция, цезия и нитрат-ионов оказались одинаковы. Определите массовые доли веществ в исходной смеси солей и молярные концентрации веществ в полученном растворе, если известно, что полученный раствор содержал также бромид-ионы и имел плотность 1,05 г/мл.

### 3.2.10. Изменение порядка смешивания реагентов

350. К 46 мл раствора соляной кислоты с плотностью 1,087 г/мл постепенно при перемешивании и при нагревании добавили некоторое количество раствора сульфида натрия с молярной концентрацией соли 3 моль/л и плотностью 1,21 г/мл, в результате чего получили 171,3 мл раствора с плотностью 1,15 г/мл и с равными молярными концентрациями двух анионов. Рассчитайте массовые доли веществ в растворе, который получится при обратном порядке смешивания таких же количеств исходных растворов.
351. К 145 мл насыщенного раствора гидрокарбоната натрия с плотностью 1,0524 г/мл медленно при перемешивании добавили 255 мл раствора гидроксида бария определенной концентрации с плотностью 1,04 г/мл, в результате чего был получен раствор с молярной концентрацией гидроксид-ионов 0,125 моль/л. Определите массовые доли веществ в растворе, который получится при медленном добавлении такого же объема насыщенного раствора гидрокарбоната натрия к 306 мл такого же раствора гидроксида бария. Растворимость гидрокарбоната натрия 9 г на 100 г воды. Изменениями объема раствора за счет химических реакций пренебречь.

### 3.2.11. Три разных вещества реагируют с равными количествами одинаковых растворов

352. В три сосуда, один из которых содержал 100 г раствора гидрокарбоната калия, другой 100 г раствора гидрокарбоната рубидия, а третий 100 г раствора гидрокарбоната натрия с одинаковыми массовыми долями соли, добавили по одинаковому объему раствора соляной кислоты с массовой долей хлороводорода 20%. Из двух сосудов выделилось по 3,36 л газа, а из одного из сосудов меньше. Определите массовые доли веществ в каждом из сосудов после окончания реакций, если известно, что гидрокарбонат калия прореагировал полностью.
353. Некоторое количество раствора соляной кислоты с молярной концентрацией хлороводорода 1,5 моль/л и плотностью 1,03 г/моль поровну разлили в три сосуда и в каждый из них бросили по кусочку одного из трех металлов (бериллия, магния и

цинка) равной массы. При н.у. из двух сосудов выделилось по 5,6 л газа, а из одного из трех меньше. Определите массовые доли веществ в полученных растворах, если известно, что магний растворился полностью.

354. Одинаковые объемы соляной кислоты с концентрацией хлороводорода 4,5 моль/л и плотностью 1,1 г/мл добавили к трем растворам равной массы, один из которых содержал 5 % (по массе) гидрокарбоната цезия, второй 5 % гидрокарбоната натрия, а третий 5 % гидрокарбоната рубидия, в результате чего из двух растворов при н.у. выделилось по 2,24 л газа, а из одного объем выделившегося газа оказался меньше. Определите массовые доли веществ в каждом из полученных растворов после окончания реакций, если известно, что два гидрокарбоната прореагировали полностью.
355. К трем растворам равной массы, один из которых содержал 5 % (по массе) гидрокарбоната лития, второй 5 % гидрокарбоната натрия, а третий 5 % гидрокарбоната рубидия добавили по одинаковому объему соляной кислоты с концентрацией кислоты 5 моль/л и плотностью 1,1 г/мл, в результате чего из двух растворов при н.у. выделилось по 1,68 л газа, а из одного объем выделившегося газа оказался меньше. Определите массовые доли веществ в каждом из полученных растворов после окончания реакций, если известно, что гидрокарбонат натрия прореагировал полностью.
356. К трем образцам муравьиной, уксусной и масляной кислот равной массы прибавили по равному объему раствора гидрокарбоната калия с концентрацией соли 2,5 моль/л и плотностью 1,04 г/мл, в результате чего в двух случаях при н.у. выделилось по 896 мл газа, а в одном объем выделившегося газа был меньше. Определите массовые доли веществ в полученных растворах, если известно, что уксусная кислота прореагировала полностью.
357. К трем растворам равной массы, один из которых содержал 10% по массе хлорида лития, другой 10% хлорида магния и третий 10% хлорида алюминия, добавили по одинаковому объему раствора нитрата серебра с массовой долей соли 20%. Из двух растворов выпало по 26,68 г осадка, а из одного меньше. Определите массовые доли веществ в каждом из трех оставшихся растворов, если известно, что хлорид алюминия прореагировал полностью.
358. В три сосуда поместили по 50 г растворов, в каждом из которых содержалась одна из трех следующих солей: сульфат лития, сульфат магния и сульфат алюминия, причем массовые доли их были одинаковы. В каждый из сосудов прибавили по одинаковому объему раствора хлорида бария с массовой долей соли 10 %, в результате чего из двух растворов выпало по 4,66 г осадка, а из одного из трех масса осадка была меньше. Определите массовые доли веществ в оставшихся растворах, если известно, что сульфат алюминия прореагировал полностью.

### 3.3. Термическое разложение солей

359. В результате прокаливании смеси нитрата меди и нитрата аммония образовалась газовая смесь, которая после отделения воды и приведения к нормальным условиям имела плотность по воздуху 1,5. Определите массы взятых для прокаливании солей, если известно, что после прокаливании масса твердого вещества уменьшилась на 22,8 г.
360. В результате прокаливании на воздухе 62,4 г смеси карбоната железа (II) и нитрата железа (II) было получено 32 г твердого остатка. Определите объем газа, который

- выделится при действии избытка соляной кислоты на такое же количество исходной смеси солей.
361. После длительного прокаливания в закрытом вакуумированном сосуде 51,8 г смеси нитрата калия, нитрата меди и меди и приведения к нормальным условиям образовалось 5,6 л газа с плотностью по водороду 21,6. Определите массовые доли веществ в исходной смеси.
362. 666,7 мл раствора нитрата меди с молярной концентрацией соли 0,6 моль/л смешали с 146 мл раствора гидроксида калия с массовой долей щелочи 10 % и плотностью 1,15 г/мл. Полученную смесь упарили и остаток прокалили. Определите массовые доли веществ в остатке после прокаливания и объемный состав выделившихся при прокаливании газов (после приведения к нормальным условиям).
363. 61,2 мл раствора гидроксида калия с массовой долей щелочи 20 % и плотностью 1,19 г/мл смешали с 250 мл раствора нитрата цинка, в котором концентрация нитрат-ионов составила 0,8 моль/л. Полученную смесь упарили и прокалили. Определите массовую долю кислорода как элемента в остатке после прокаливания.
364. 430 мл раствора гидрокарбоната натрия с массовой долей соли 8 % и с плотностью 1,099 г/мл смешали с 77,4 мл раствора хлорида алюминия с массовой долей соли 15 % и плотностью 1,15 г/мл. Реакционную смесь упарили и прокалили. Определите массовые доли веществ в остатке после прокаливания.
365. Некоторый объем раствора нитрата серебра с массовой долей соли 25 % и плотностью 1,25 г/мл смешали с 39,98 мл раствора гидрофосфата аммония с массовой долей соли 10% и плотностью 1,05 г/мл. Полученную смесь упарили и прокалили. Определите объем взятого раствора нитрата серебра, если известно, что в остатке после прокаливания массовая доля металлического серебра составила 20 %.
366. 660 г раствора гидрокарбоната натрия с молярной концентрацией соли 0,5 моль/л и плотностью 1,1 г/мл смешали с 525 г раствора силиката натрия с молярной концентрацией соли 0,2 моль/л и плотностью 1,05 г/мл. Полученную смесь упарили, твердый остаток прокалили и сплавляли. Определите массовые доли веществ в смеси, полученной после сплавления.
367. К 1 л насыщенного раствора гидрокарбоната бария с плотностью 1,0138 г/мл прибавили 800 мл раствора гидросульфата натрия с молярной концентрацией соли 0,2 моль/л. Смесь упарили и остаток прокалили. Определите массовые доли веществ в остатке после прокаливания, если известно, что коэффициент растворимости гидрокарбоната бария в этих условиях равен 83 г/л.
368. В 100 мл метанола (плотность 0,8 г/мл) растворили такое количество натрия, что массовая доля метилата натрия в растворе составила 29,67 %. К полученному раствору добавили 12 г уксусной кислоты и 20 мл воды. Летучие вещества испарили и остаток прокалили. Определите массовые доли веществ в остатке после прокаливания.
369. В 222,2 мл раствора уксусной кислоты в этиловом спирте с массовой долей кислоты 6 % и плотностью 0,9 г/мл растворили некоторое количество натрия. При этом выделилось 11,2 л газа (н.у.). В полученный раствор добавили 16,2 мл воды и раствор выпарили. Остаток прокалили. Определите массовые доли веществ в остатке после прокаливания.
370. В 123,3 мл раствора метилацетата в метаноле с массовой долей сложного эфира 0,15 и плотностью 0,8 г/мл растворили 10,35 г натрия, затем добавили 20 мл воды и нагревали до окончания химических реакций. Полученный раствор выпарили и ос-

таток прокалили. Определите массовые доли веществ в остатке после прокаливания.

371. 31,5 г смеси этилацетата и ацетата цинка растворили в 85,71 мл раствора гидроксида натрия с массовой долей щелочи 0,4 и плотностью 1,4 г/мл и полученный раствор нагревали до окончания всех химических реакций. Затем раствор выпарили, и остаток прокалили, в результате чего осталось некоторое количество сухого вещества, содержащего гидроксид натрия с массовой долей 18,93 %. Определите массы веществ в остатке после прокаливания.
372. 33,1 г смеси метилацетата и ацетата цинка при нагревании обработали 83,9 мл раствора гидроксида натрия с массовой долей щелочи 40% и плотностью 1,43 г/мл. Полученный раствор упарили и сухой остаток прокалили. Определите массовые доли веществ в остатке после прокаливания, если известно, что его масса равнялась 64,7 г и что он содержит щелочь.
373. К 352,9 мл раствора гидроксида калия с массовой долей щелочи 20 % и плотностью 1,19 г/мл добавили 34,9 г смеси метилацетата и ацетата бериллия. Полученный раствор нагревали до окончания всех химических реакций. Затем раствор выпарили, и остаток прокалили, в результате чего осталось некоторое количество сухого вещества, содержащего гидроксид калия с массовой долей 17,2 %. Определите массы веществ в остатке после прокаливания.
374. Сосуд емкостью 5,6 л заполнили при н.у. гелием и поместили в него 88,8 г кристаллогидрата нитрата меди, в котором массовая доля безводной соли составляет 63,5 %, и 6,42 г хлорида аммония. Сосуд закрыли и нагрели до 700 °С, затем медленно охладили. Определите составы газовой смеси (в % по объему) и раствора (в массовых долях), имеющихся в сосуде после охлаждения.
375. 118,4 г кристаллогидрата нитрата меди, в котором массовая доля кристаллизационной воды составляет 36,5 %, и 5,35 г хлорида аммония поместили в сосуд емкостью 10,08 л, заполненный при н.у. аргоном. Сосуд закрыли и нагрели до 700 °С, затем медленно охладили. Определите составы газовой смеси (в % по объему) и раствора (в массовых долях), имеющихся в сосуде после охлаждения.
376. В толстостенный медный сосуд емкостью 6,72 л, заполненный при н.у. кислородом, поместили 452 мл азотной кислоты с массовой долей кислоты 0,2 и плотностью 1,115 г/мл и 21,4 г хлорида аммония. Сосуд закрыли и постепенно нагревали до 700 °С, затем медленно охладили. Определите массы веществ, образовавшихся в сосуде.
377. 452 мл азотной кислоты с массовой долей кислоты 0,2 и плотностью 1,115 г/мл и 21,4 г хлорида аммония поместили в толстостенный медный сосуд емкостью 5,6 л, заполненный при н.у. кислородом. Сосуд закрыли и нагревали при высокой температуре, затем постепенно охладили. Определите массы веществ, образовавшихся в сосуде.

### 3.4. Определение формулы вещества

#### 3.4.1. Определение элемента

378. Массовые доли кислорода в нитрате и нитрите некоторого металла относятся как 1,3526 : 1. Определите формулу нитрата и объем газов (н.у.), который выделится при нагревании 13 г этого нитрата.

379. 33,95 г сульфида металла (II) обработали избытком соляной кислоты. Выделившийся газ растворили в 118 мл раствора гидроксида натрия с массовой долей щелочи 12 % и плотностью 1,13 г/мл. Определите, сульфид какого металла был взят, если известно, что массовая доля кислой соли в конечном растворе составила 11,57 %.
380. 21,6 г неизвестного металла растворили в избытке очень разбавленной азотной кислоты. К полученному раствору добавили избыток щелочи и прокипятили. При этом выделилось 6,72 л (н.у.) газа. Установите, какой металл был растворен в азотной кислоте.
381. В результате растворения металла в разбавленной азотной кислоте образовался раствор, содержащий две соли с массовыми долями 7,4 и 0,961 % соответственно. Определите, какой металл был растворен в азотной кислоте, если известно, что получается только один продукт восстановления азота.
382. 19, 2 г неизвестного металла растворили в избытке очень разбавленной азотной кислоты. К полученному раствору прибавили избыток щелочи и прокипятили, в результате чего выделилось 4,48 л газа (н.у.). Определите, какой металл был растворен в азотной кислоте.
383. Образец неизвестного металла растворили в избытке раствора очень разбавленной азотной кислоты и получили 623 мл раствора с плотностью 1,026 г/мл, содержащего две соли с массовыми долями 3,766 и 0,3755 % соответственно. Определите металл и массовую долю азотной кислоты в исходном растворе, если известно, что суммарная молярная концентрация ионов в растворе в результате реакции уменьшилась на 22 %. Изменением объема раствора пренебречь и считать, что процесс идет строго по одному уравнению реакции.
384. Образец неизвестного металла растворили в избытке раствора очень разбавленной азотной кислоты и получили 628,3 мл раствора с плотностью 1,025 г/мл, содержащего две соли с массовыми долями 4,484 и 0,3727 % соответственно. Определите металл и массовую долю азотной кислоты в исходном растворе, если известно, что суммарная молярная концентрация ионов в растворе в результате реакции уменьшилась на 22 %. Изменением объема раствора пренебречь и считать, что процесс идет строго по одному уравнению реакции.
385. Газы, образовавшиеся при прокаливании 43,9 г смеси карбоната и нитрата некоторого металла (II), в которой массовая доля металла как элемента составляет 44,42 %, пропустили в раствор гидроксида натрия с массовой долей щелочи 20 % и получили раствор, содержащий только четыре соли с равными молярными концентрациями. Определите металл и рассчитайте массовые доли солей в полученном растворе. (Кислород в данном случае не проявляет окислительных свойств.)
386. 8,03 г оксида металла смешали с алюминием и нагрели. Полученную массу разделили на две равные части. Одну часть обработали избытком соляной кислоты, при этом выделилось 1,344 л газа. Вторую часть обработали избытком раствора щелочи, в результате чего выделилось 0,224 л газа. Определите, о каком оксиде металла идет речь, если известно, что теплота сгорания металла до этого оксида в три раза меньше теплоты образования данного оксида, а на восстановление 0,15 моль этого оксида до металла требуется 13,44 л оксида углерода (II).
387. После прокаливании на воздухе 72 г кристаллогидрата нитрата металла, в котором массовая доля кристаллизационной воды составляет 37,5 %, осталось 20 г оксида металла. Определите формулу кристаллогидрата и массы веществ, которые образуются при прокаливании с последующим медленным охлаждением такой же его массы в закрытом сосуде, заполненном аргоном. Известно, что теплота образова-

ния полученного в первом случае оксида в два раза больше теплоты сгорания металла до этого оксида, а на полное восстановление этого оксида до металла требуется вдвое большее количество аммиака.

### 3.4.2. Определение формулы неорганического вещества

388. В результате реакции некоторой одноосновной кислоты, содержащей иод, с сероводородом образуются иод, сера и вода. Установите формулу этой кислоты, если известно, что ее молекулярная масса меньше 200 а.е.м. и что в полученной после реакции смеси на 1 моль иода приходится 5 моль серы.
389. В результате прокаливании 17,76 г неизвестной соли образовался оксид металла (II), 1,44 г воды и 1,792 л газообразного оксида элемента (IV) с плотностью 1,964 г/л (н.у.). Определите формулу исходной соли, если известно, что массовая доля металла в ней составляла 57,66%.
390. Имеется соль с массовой долей кислорода 36 % и молярной массой менее 300 г/моль. В результате нагревания 33,3 г этой соли образовался оксид металла (II), 2,7 г воды и 3,36 л газообразного оксида с плотностью 1,964 кг/м<sup>3</sup> (н.у.). Определите формулу исходной соли.
391. 15,54 г неизвестной соли с молярной массой меньше 250 г/моль, в которой массовая доля кислорода равна 0,36, прокалили. При этом образовался оксид металла (II), 1,26 г воды и 1,568 л (н.у.) газообразного оксида элемента (IV) с плотностью по водороду 22. Определите формулу исходной соли.
392. В результате термического разложения 8 г кристаллогидрата неизвестной соли с массовой долей кристаллизационной воды 11,25 % образовалось 4 г оксида металла (II), 1,8 г воды и выделилось 1,12 л (н.у.) газообразного оксида элемента (IV) с плотностью 1,964 г/л (н.у.). Определите формулу исходного кристаллогидрата, если известно, что массовая доля кислорода как элемента в нем равна 0,6.
393. При прокаливании некоторого количества кристаллогидрата неизвестной соли, в котором массовая доля кристаллизационной воды составляла 11,25%, образовалось 0,96 г оксида металла (II), 0,432 г воды и 268,8 мл (н.у.) газообразного оксида элемента (IV) с плотностью по воздуху 1,517. Определите формулу исходного кристаллогидрата, если известно, что массовая доля кислорода как элемента в нем равна 60%.
394. В результате термического разложения 19,86 г кристаллогидрата неизвестной соли, состоящей из трех элементов, выделилась вода, образовалось 5,824 л (н.у.) газовой смеси с плотностью по воздуху 1,31 и осталось 3,5 г смеси хлорида и оксида металла (II), в которой массовая доля металла как элемента составляет 41,14 %. Определите формулу исходного кристаллогидрата, если известно, что массовая доля кислорода в исходном кристаллогидрате составляет 0,6767.
395. Образец кристаллогидрата соли, состоящей из трех элементов, нагрели. В результате его термического разложения образовалось 4,928 л (н.у.) газовой смеси с плотностью по азоту 1,396, выделилось 5,4 г воды и осталось 2,55 г смеси хлорида и оксида металла (II), в которой массовая доля металла как элемента составляет 47,06 %. Определите формулу кристаллогидрата, если известно, что массовая доля кислорода в нем составляет 67,67 %.
396. Образец кристаллогидрата соли, состоящей из трех элементов, массой 9,93 г нагрели. В результате его термического разложения образовалось 2,912 л (н.у.) газовой смеси с плотностью по водороду 19, 1,75 г смеси хлорида и оксида металла (II), в

- которой массовая доля металла как элемента составляет 41,14 %, и выделилась вода. Определите формулу кристаллогидрата, если известно, что суммарная массовая доля всех элементов, кроме кислорода, в нем составляет 32,33 %.
397. 95, 5 г соли, содержащей 47,12 % (по массе) кристаллизационной воды смешали с серной кислотой и прокалили. Получили 62,5 г твердого остатка, содержащего по массе 32,32 % исходной безводной соли, 34,08 % сульфата натрия и оксид элемента (III) с массовой долей элемента 31,43%. Определите формулу кристаллогидрата.
398. 38,88 г кристаллогидрата неизвестной соли, состоящей из трех элементов, смешали с некоторым количеством серной кислоты и нагрели до 200 °С, в результате чего из смеси выделилась вода и осталось 34,48 г сухого остатка, содержащего по массе 27,15% исходной безводной соли, 40,37% сульфата калия и оксид элемента (III), в котором массовая доля элемента составляет 31,4%. Определите формулу кристаллогидрата.
399. К 104,3 г кристаллогидрата соли, состоящей из трех элементов добавили некоторое количество концентрированной серной кислоты и нагрели до 300 °С, после чего осталось 98,1 г твердого вещества, содержащего по массе 28,98 % сульфата натрия, 40,1 % исходной безводной соли и оксид элемента (III), в котором массовая доля элемента составляет 68,42 %. После приведения газо-паровой смеси, выделившейся при нагревании, к н.у. осталось 6,72 л газа с плотностью 1,428 г/л. Определите формулу кристаллогидрата.
400. 73,01 г кристаллогидрата соли, состоящей из трех элементов, смешали с некоторым количеством концентрированной серной кислоты и нагрели, после чего осталось 68,67 г твердого вещества, содержащего сульфат натрия, 40,1 % (по массе) исходной безводной соли и 30,92 % (по массе) оксида элемента (III), в котором массовая доля кислорода составляет 31,58 %. После приведения газо-паровой смеси, выделившейся при нагревании, к н.у. осталось 4,704 л газа с плотностью 1,428 г/л. Определите формулу кристаллогидрата.
401. К 12,02 г кристаллогидрата соли, состоящей из трех элементов, добавили 20 г концентрированного раствора серной кислоты и нагрели. При этом выделилась смесь газа с парами воды, которая после охлаждения превратилась в 12,7 мл соляной кислоты с массовой долей хлороводорода 30 % и плотностью 1,15 г/мл, а в сосуде осталась смесь, содержащая серную кислоту, воду, 41,38 % (по массе) гидросульфата натрия и 45,24 % (по массе) гидросульфата элемента (III), в котором массовая доля серы равна 0,2437. Определите формулу кристаллогидрата.
402. В 25 мл раствора серной кислоты с плотностью 1,6 г/мл растворили 7,212 г кристаллогидрата неизвестной соли, состоящей из трех элементов, и нагрели до кипения. При этом выделилась смесь газа с парами воды, которая после охлаждения превратилась в 12 мл 20%-ной соляной кислоты с плотностью 1,095 г/мл, а в сосуде осталась смесь, содержащая серную кислоту, воду, 12,68 % ( по массе) гидросульфата натрия и 13,88% (по массе) гидросульфата элемента (III), в котором массовая доля кислорода составляет 48,73%. Определите формулу кристаллогидрата.
403. 85,2 г кристаллогидрата неизвестной соли, в котором массовая доля кристаллизационной воды составляет 57,04 %, смешали с фосфорной кислотой и прокалили. Получили 43,7 г сухого остатка, содержащего по массе 41,88 % исходной безводной соли, 37,53 % фосфата натрия, и оксид элемента (IV) с массовой долей кислорода 53,3 %. Определите формулу исходного кристаллогидрата.
404. 18,4 г кристаллогидрата соли, содержащей три элемента и 24,46 % (по массе) кристаллизационной воды, смешали с фосфорной кислотой и прокалили. При этом образовалось 17,95 г твердого остатка, содержащего по массе 32,59 % дигидроорто-

фосфата кальция, 18,94 % гидроортофосфата кальция и оксид элемента (IV) с массовой долей кислорода 0,3678. Определите формулу кристаллогидрата.

405. К 25,76 г кристаллогидрата соли, содержащей три элемента, прилили 84 мл раствора фосфорной кислоты с массовой долей кислоты 0,1 и плотностью 1,05 г/мл, смесь выпарили и нагрели до 350 С, в результате чего осталось 23,66 г сухого вещества, содержащего по массе 28,74% гидрофосфата кальция, дигидрофосфат кальция и оксид элемента (IV), в котором массовая доля элемента составляет 63,22 %. Определите формулу кристаллогидрата, если известно, что массовая доля кристаллизационной воды в нем составляла 24,46%.
406. Образец кристаллогидрата соли, состоящей из трех элементов, массой 22,6 г смешали с 72,6 мл раствора ортофосфорной кислоты с массовой долей кислоты 0,15 и плотностью 1,08 г/мл, смесь упарили и прокалили, в результате чего выделились пары воды, 1,12 л газа (н.у.), поддерживающего горение, и осталось 26,82 г сухого остатка, содержащего по массе 34,67 % ортофосфата кальция, дифосфат кальция и оксид элемента (III), в котором массовая доля элемента составляет 75,76 %. Определите формулу исходного кристаллогидрата.
407. 40,05 г кристаллогидрата соли, содержащей три элемента, один из которых кислород, смешали с избытком азотной кислоты. Смесь упарили и прокалили. Получили 43,35 г твердого остатка, содержащего 47,75 % (по массе) нитрита натрия и оксид элемента (IV) с массовой долей кислорода 21,19 %. Определите формулу кристаллогидрата.
408. 9,65 г кристаллогидрата соли, содержащей три элемента, обработали избытком азотной кислоты. Полученную смесь упарили и прокалили, при этом выделилось 0,56 л газа (н.у.), поддерживающего горение и имеющего плотность при н.у. 1,429 г/л, и осталось 7,05 г нелетучего остатка, содержащего 48,94 % (по массе) нитрита натрия и оксид элемента (VI), в котором массовая доля элемента составляет 66,67 %. Определите формулу исходного кристаллогидрата.
409. В избытке азотной кислоты растворили 7,72 г кристаллогидрата соли, состоящей из трех элементов. Раствор упарили и остаток прокалили. В результате прокаливания выделилось 0,448 л газа (н.у.), поддерживающего горение и имеющего плотность по воздуху 1,103, и осталось 5,64 г нелетучего вещества, содержащего нитрит натрия и 51,06% (по массе) оксида элемента (VI), в котором массовая доля кислорода равна 33,33%. Определите формулу исходного кристаллогидрата.
410. 8,05 г кристаллогидрата соли, состоящей из трех элементов, один из которых кислород, смешали с избытком соляной кислоты. Полученную смесь упарили и нагрели, в результате чего осталось 9,45 г сухой смеси, содержащей 19,76 % (по массе) хлорида калия и хлорид элемента (III), в котором массовая доля хлора составляет 35,1 %. Определите формулу кристаллогидрата, если известно, что массовая доля водорода как элемента в нем равна 0,0186.
411. В избытке соляной кислоты растворили 6,44 г кристаллогидрата соли, состоящей из трех элементов, Полученный раствор упарили и остаток прокалили, в результате чего получили 7,56 г смеси хлоридов металлов (I) и (III), в которых массовая доля хлора как элемента составляет 47,65 и 35,1% соответственно. Определите формулу кристаллогидрата, если известно, что массовые доли кислорода и водорода в нем равны 24,84 и 1,86 % соответственно.
412. 85,5 г кристаллогидрата соли, состоящей из трех элементов, нагревали в избытке соляной кислоты, в результате чего выделилось 8,4 л газа с плотностью 3,17 г/л (н.у.) и пары воды. После упаривания досуха осталось 68,88 г смеси хлоридов металлов (I) и (III) в молярном соотношении 2:1, в которой массовая доля хлора как

- элемента составляет 64,42 %. Определите формулу исходного кристаллогидрата, если известно, что молярные массы металлов (I) и (III) относятся как 1 : 2,26.
413. Образец кристаллогидрата соли, состоящей из трех элементов, массой 10,275 г обработали избытком концентрированной соляной кислоты и образовавшуюся смесь упарили. Получили смесь хлоридов металлов (II) и (III), в которых массовая доля хлора как элемента составляет 34,13 % и 35,09 % соответственно, в молярном соотношении 1:2. Определите формулу исходного кристаллогидрата, если известно, что массовые доли водорода и кислорода в нем составляют 1,46 % и 21,02 % соответственно.
414. В 100 мл воды растворили 11,94 г кристаллогидрата соли, состоящей из трех элементов, два из которых являются металлами. К полученному раствору добавили 25,74 г кристаллической соды. После этого выпало 7,44 г гидроксида металла (III), в котором массовая доля металла составляет 79,45 %, и остался раствор, содержащий только хлорид натрия и гидрокарбонат натрия с массовыми долями 5,39 и 5,804 % соответственно. Определите формулу кристаллогидрата.
415. 9,95 г кристаллогидрата соли, состоящей из трех элементов, два из которых являются металлами, растворили в 50 мл воды. К полученному раствору добавили 80,3 мл раствора карбоната натрия с молярной концентрацией соли 0,934 и плотностью 1,1 г/мл. После этого выпало 6,2 г гидроксида металла (III), в котором массовая доля кислорода как элемента составляет 19,35%, и остался раствор, содержащий только хлорид натрия и гидрокарбонат натрия с массовыми долями 4,117 и 4,434 % соответственно. Определите формулу кристаллогидрата.
416. 6,96 г кристаллогидрата неорганической двойной соли обработали избытком концентрированного раствора гидроксида натрия, при этом выделилось 0,672 л газа (н.у.), образовалось 1,35 г осадка гидроксида металла (II), в котором массовая доля металла составляет 62,2 %, и осталось 30 мл раствора с плотностью 1,2 г/мл, содержащего 11,83 % (по массе) сульфата натрия. Определите формулу кристаллогидрата.
417. 7,9 г кристаллогидрата двойной неорганической соли растворили в 25 мл концентрированного раствора гидроксида калия с плотностью 1,4 г/мл и нагрели. При этом выделилось 0,896 л газа (н.у.), образовалось 1,86 г осадка гидроксида металла (II), в котором массовая доля кислорода составляет 34,41 %, и остался раствор, содержащий не прореагировавший гидроксид калия и 17,24 % (по массе) сульфата калия. Определите формулу кристаллогидрата.

### 3.4.3. Определение формулы органического вещества

418. При сжигании 4,45 г органического вещества в избытке кислорода образовалось 3,15 г воды и 5,32 л (н.у.) газовой смеси, объем которой после пропускания через избыток раствора щелочи уменьшился до 1,96 л (н.у.). Предложите возможную структурную формулу вещества, если известно, что оно содержит азот, и что плотность по водороду оставшейся газовой смеси равна 15,43.
419. 22,7 г органического вещества, содержащего азот, сожгли в избытке кислорода. При этом образовалось 4,5 г воды и смесь газов, которую пропустили через избыток раствора гидроксида бария, в результате чего выпало 137,9 г осадка и осталось 5,04 л (н.у.) газовой смеси с плотностью 1,31 г/л (н.у.). Предложите возможную структурную формулу вещества.

420. Некоторое количество органического вещества, содержащего азот и кислород, сожгли в 26,88 л кислорода (н.у.). Образовалось 9 г воды и смесь газов, которую пропустили через избыток раствора гидроксида бария, в результате чего образовалось 275,8 г осадка и осталось 10,08 л (н.у.) газовой смеси с плотностью 1,31 г/л. Предложите возможную структурную формулу сожженного вещества.
421. После сжжения 27,9 г соли органической кислоты, и приведения продуктов сгорания к нормальным условиям образовалось 23,5 г соляной кислоты с массовой долей хлороводорода 31,06 % и 20,16 л смеси оксида углерода (IV) и азота с плотностью по водороду 21,12. Предложите возможную структурную формулу соли, если известно, что кислота может иметь два структурных изомера.
422. 6,9 г соли предельной двухосновной органической кислоты сожгли в 4,48 л кислорода (н.у.). При этом образовалось 4,5 г воды и газовая смесь с плотностью по воздуху 1,349. После пропускания этой смеси через избыток раствора гидроксида бария ее объем уменьшился на 66,67%, а после пропускания оставшейся смеси газов через раскаленную трубку с медью объем последней уменьшился в 1,5 раза и остался газ с плотностью 1,25 г/л (н.у.). Определите возможную структурную формулу сожженной соли.
423. Образец соли аминокислоты, входящей в состав белков, массой 1,415 г сожгли в 1,176 л (н.у.) кислорода. Смесь веществ, образовавшихся в результате сжжения привели к н.у., в результате чего получили 0,8725 мл соляной кислоты с массовой долей хлороводорода 36,68 % и плотностью 1,14 г/мл и газовую смесь, имеющую плотность по водороду 19,1. Определите структурную формулу сожженной соли, если известно, что в результате пропускания газовой смеси через трубку, заполненную щелочью ее объем уменьшился в 2,2 раза.
424. После сжжения 5,66 г соли аминокислоты, входящей в состав белков образовалось 3,373 мл соляной кислоты с плотностью 1,18 г/мл и массовой долей хлороводорода 36,68 % и 3,136 л смеси азота и углекислого газа с плотностью по водороду 20,85 (н.у.). Определите формулу аминокислоты.
425. 5,66 г соли аминокислоты, входящей в состав белков, сожгли в 4,704 л (н.у.) кислорода. После приведения смеси веществ, полученных в результате сгорания, к нормальным условиям образовалось 3,49 мл соляной кислоты с массовой долей хлороводорода 36,68% и плотностью 1,14 г/мл и газовая смесь, имеющая плотность 1,705 г/л, объем которой после пропускания через избыток раствора щелочи уменьшился в 2,2 раза. Определите структурную формулу сожженной соли.
426. 4,03 г соли аминокислоты, входящей в состав белков, сожгли в 5,712 л (н.у.) кислорода. После приведения смеси веществ, полученных в результате сгорания, к нормальным условиям образовалось 2,437 мл соляной кислоты с массовой долей хлороводорода 26,94 % и плотностью 1,112 г/мл и газовая смесь, имеющая плотность 1,84 г/л, объем которой после пропускания через избыток раствора щелочи уменьшился в 4,6 раза. Определите структурную формулу сожженной соли.
427. После сжигания 23 г соли аминокислоты, входящей в состав белков, в 26,6 л кислорода (н.у.) и приведения полученной после сгорания смеси веществ к нормальным условиям образовалось 20,3 г соляной кислоты с массовой долей хлороводорода 26,88 % и некоторое количество газовой смеси, имеющей плотность по водороду 20,35, объем которой после пропускания через избыток раствора щелочи уменьшился в 4 раза. Определите структурную формулу сожженной соли.
428. 1,62 г дипептида сожгли в избытке кислорода. Смесь газообразных веществ пропустили через трубку с оксидом фосфора (V), а затем через раствор гидроксида кальция. Из полученной смеси удалили кислород и измерили объем оставшегося

- газа, который оказался равным 224 мл (н.у.). Масса трубки с оксидом фосфора (V) увеличилась на 0,9 г. Масса выпавшего осадка равна 5 г. Определите формулу дипептида, если известно, что одна из аминокислот — глицин.
429. Некоторое количество органического основания, входящего в состав нуклеиновых кислот, сожгли в 4,48 л (н.у.) кислорода, в результате чего образовалось 0,9 г воды и 5,264 л (н.у.) газовой смеси с плотностью по кислороду 1,133, объем которой после пропускания через избыток раствора щелочи уменьшился до 3,024 л. Предложите структурную формулу сожженного вещества.
430. Органическое основание, входящее в состав нуклеиновых кислот, сожгли в 4,48 л (н.у.) кислорода, в результате чего образовалось 0,9 г воды и 5,264 л (н.у.) газовой смеси с плотностью по кислороду 1,133, объем которой после пропускания через избыток раствора щелочи уменьшился до 3,024 л. Предложите структурную формулу сожженного вещества.
431. Некоторое количество органического основания, входящего в состав нуклеиновых кислот, сожгли в 4,032 л (н.у.) кислорода, в результате чего образовалось 1,62 г воды и 4,368 л (н.у.) газовой смеси с плотностью по водороду 20,32, объем которой после пропускания через избыток раствора щелочи уменьшился до 1,008 л. Предложите структурную формулу сожженного вещества.
432. Образец органического основания, входящего в состав нуклеиновых кислот, массой 1,665 г сожгли в избытке кислорода, в результате чего образовалось 0,675 г воды и газовая смесь с плотностью по водороду 18, объем которой после пропускания через избыток раствора щелочи уменьшился на 38,1 % и составил 2,184 л (н.у.). Предложите структурную формулу сожженного вещества.
433. В результате сжигания 3,78 г азотистого основания, входящего в состав нуклеиновых кислот, в избытке кислорода образовалось 1,62 г воды и 4,368 л (н.у.) газовой смеси с плотностью 1,813 г/л, объем которой после пропускания через трубку, заполненную щелочью, уменьшился до 1,008 л. Предложите структурную формулу сожженного вещества.
434. Алкен с неразветвленной углеродной цепью и неспособный существовать в виде цис- и транс-изомеров количественно присоединил 20,25 г бромоводорода. Полученный продукт обработали 54,5 мл раствора гидроксида натрия с массовой долей щелочи 10% и плотностью 1,1 г/мл, в результате чего получилось 10,56 г спирта. Определите структурные формулы исходного алкена и полученного спирта, если превращение галогенопроизводного в спирт происходит с выходом 80 %
435. При сжигании 17,6 г смеси фенола с диеновым углеводородом, имеющим неразветвленное строение и не способным существовать в виде пространственных изомеров, образовалось 14,4 г воды. Напишите структурную формулу неизвестного углеводорода, если известно, что такое же количество исходной смеси обесцвечивает 222,2 мл раствора брома в тетрахлориде углерода с массовой долей брома 0,2 и плотностью 1,8.
436. 2,37 г смеси анилина с диеновым углеводородом, углеродная цепь которого имеет два разветвления и который имеет два пространственных изомера, обесцвечивает 55 мл раствора брома в тетрахлориде углерода с массовой долей брома 0,1 и плотностью 1,745 г/мл. Определите возможные структурные формулы изомеров диенового углеводорода, если известно, что при полном сгорании такого же количества этой смеси образуется 3,808 л газов (н.у.).
437. При нагревании 29,6 г предельного нециклического одноатомного спирта с серной кислотой образовалось 24,2 г смеси простого эфира и трех изомерных алкенов.

Определите структурные формулы исходного и конечных соединений, если известно, что массовая доля кислорода как элемента в полученной смеси органических веществ составляла 6,61 %.

438. После нагревания смеси двух предельных нормальных одноатомных спиртов с кислотным катализатором образовалось 79,8 г смеси трех веществ одного гомологического ряда в молярном соотношении 1:2:4 в порядке возрастания молярной массы и 12,6 г воды. Определите формулы исходных спиртов, если их молярные массы относятся как 1:1,67. Общий выход продуктов считать 100%.
439. В результате нагревания 50,9 г смеси двух одноатомных предельных спиртов с кислотным катализатором было получено 41,9 г смеси трех веществ одного гомологического ряда в молярном соотношении 1:1,5:2,5 в порядке убывания молярной массы. Определите формулы исходных спиртов, если известно, что их молярные массы соотносятся как 1:1,304. Общий выход продуктов считать 100%.
440. Смесь двух одноатомных насыщенных спиртов, молярные массы которых соотносятся как 1:1,875, нагрели с кислотным катализатором, в результате чего масса органических веществ уменьшилась на 20,83%, и образовалось 17,1 г смеси трех веществ одного гомологического ряда в молярном соотношении 1:1:0,5 в порядке возрастания молярной массы. Определите формулы и массы исходных спиртов. Общий выход продуктов считать 100%.
441. При сжигании 20 г смеси метанола с насыщенным двухатомным спиртом образовалось 16,8 л оксида углерода (IV) (н.у.), а при обработке такого же количества смеси избытком натрия выделилось 6,16 л водорода (н.у.). Определите возможные структурные формулы двухатомного спирта и его массовую долю в исходной смеси
442. При взаимодействии избытка металлического натрия с 23,8 г смеси бутанола-2 с насыщенным двухатомным спиртом выделилось 4,48 л газа. При сжигании такого же количества этой смеси в избытке кислорода образуется 27 г воды. Напишите возможные структурные формулы взятого двухатомного спирта.
443. Смесь этанола с насыщенным двухатомным спиртом массой 15,8 г обработали избытком металлического натрия, при этом выделилось 3,92 л газа (н.у.). Определите возможные структурные формулы двухатомного спирта, если при сжигании такого же количества исходной смеси образуется 15,68 л углекислого газа (н.у.).
444. Пары смеси двух одноатомных спиртов с плотностью по водороду 23 смешали с равным объемом кислорода и пропустили через раскаленную медную сетку. Продукты реакции растворили в избытке аммиачного раствора оксида серебра и осторожно нагрели. При этом выпало 6,48 г осадка, а при добавлении к оставшемуся раствору избытка соляной кислоты выделилось 224 мл газа (н.у.). Определите качественный и количественный (в массовых долях) состав исходной смеси спиртов.
445. После пропускания паров смеси двух предельных первичных спиртов через нагретую трубку, заполненную избытком оксида меди, масса трубки уменьшилась на 6,4 г. половину полученных продуктов сожгли в избытке кислорода и получили 20,16 л (н.у.) газовой смеси с плотностью по водороду 18. Оставшиеся органические вещества обработали избытком аммиачного раствора оксида серебра и получили 75,6 г осадка. Определите массовые доли спиртов в их исходной смеси.
446. 6,2 г смеси двух одноатомных насыщенных спиртов испарили и пропустили с избытком кислорода над нагретым медным катализатором. При обработке образовавшихся продуктов избытком аммиачного раствора оксида серебра выпало 54 г осадка. Определите качественный и количественный состав исходной смеси спир-

- тов, если известно, что при действии избытка натрия на 18,6 г такой же смеси выделяется 5,04 л газа (н.у.). Выход во всех реакциях 100 %.
447. В результате пропускания через раскаленную трубку, заполненную оксидом меди, смеси паров двух насыщенных одноатомных спиртов масса трубки уменьшилась на 0,8 г, и образовалось 2,06 г смеси двух органических веществ, при растворении которых в воде и дальнейшей обработке избытком аммиачного раствора оксида серебра выделилось 17,28 г осадка. Определите качественный и количественный (в массовых долях) состав исходной смеси спиртов, учитывая, что выход во всех реакциях составляет 100%.
448. Пары смеси двух предельных первичных спиртов пропустили при нагревании через трубку, заполненную избытком оксида меди, в результате чего масса оксида меди уменьшилась на 4,8 г. Четыре пятых полученных продуктов сожгли в избытке кислорода и получили 13,44 л (н.у.) газовой смеси с плотностью по водороду 20,8. Оставшиеся органические вещества обработали избытком аммиачного раствора оксида серебра и получили 21,6 г осадка. Определите качественный и количественный состав исходной смеси спиртов.
449. Для нейтрализации 2,66 г смеси уксусной и предельной двухосновной кислоты с неразветвленной углеродной цепью потребовалось 30 мл раствора гидроксида натрия с массовой долей щелочи 5% и плотностью 1,067 г/мл. Напишите возможные структурные формулы изомеров этой кислоты, если известно, что при сжигании 13,3 г такой же смеси кислот образуется 11,2 л (н.у.) оксида углерода (IV).
450. При дегидратации спиртов, полученных гидролизом 22 г смеси двух изомерных насыщенных сложных эфиров образовалось 5,6 л смеси газообразных алкенов с плотностью 1,406 г/л (н.у.). Определите качественный и количественный состав исходной смеси сложных эфиров.
451. 22 г смеси двух изомерных насыщенных сложных эфиров обработали 121,2 мл раствора гидроксида натрия с массовой долей щелочи 12 % и плотностью 1,1 г/мл. После завершения реакций массовая доля щелочи в полученном растворе составила 3,87 %. Определите возможные структурные формулы исходных сложных эфиров.
452. При дегидратации спиртов, полученных гидролизом 45,9 г смеси трех изомерных насыщенных сложных эфиров образовалось 10,08 л (н.у.) смеси пяти газообразных алкенов с плотностью по водороду 20,22, в которой объемная доля алкена с наименьшей молярной массой составила 22,22 %. Определите качественный и количественный состав исходной смеси сложных эфиров.
453. 52,8 г смеси трех изомерных насыщенных сложных эфиров обработали 204,3 мл раствора гидроксида натрия с массовой долей щелочи 15 % и плотностью 1,175 г/мл. После завершения реакций массовые доли щелочи и соли кислоты с наименьшей молярной массой в полученном растворе составили 4,1 % и 5,806 % соответственно, а суммарная массовая доли спиртов - 9,187 %. Определите качественный и количественный состав исходной смеси эфиров.
454. 35,2 г смеси трех изомерных насыщенных сложных эфиров обработали 96 мл раствора гидроксида натрия с массовой долей щелочи 20 % и плотностью 1,25 г/мл. После окончания всех реакций был получен раствор, содержащий две соли с суммарной массовой долей 19,33% , щелочь с массовой долей 5,155 %. Молярная доля одного из образовавшихся спиртов оказалась в 2 раза большей, чем каждого из остальных. Определите качественный и количественный состав исходной смеси сложных эфиров.

455. Смесь трех изомерных насыщенных сложных эфиров обработали 142,4 мл раствора гидроксида калия с массовой долей щелочи 0,15 и плотностью 1,18 г/мл. После окончания всех реакций было получено 166 мл раствора с плотностью 1,171 г/мл и с молярной концентрацией щелочи 0,9036 моль/л, содержащего две соли с суммарной массовой долей 14,4 %. В растворе также присутствовали три спирта с равными молярными концентрациями. Определите качественный и количественный состав исходной смеси сложных эфиров.
456. Образец жира, содержащего остатки только олеиновой и линолевой кислот, обработали избытком бромной воды, в результате чего масса жира увеличилась на 32 г. Полученное вещество нагревали с 71,8 мл раствора гидроксида натрия с массовой долей щелочи 0,2665 и плотностью 1,17 г/мл до окончания всех химических реакций. Предложите возможные структурные формулы исходного жира, если известно, что объем конечного раствора равнялся 100 мл, а концентрация гидроксида натрия в нем составляла 0,4 моль/л.
457. На полное гидрирование некоторого количества жира, содержащего только остатки олеиновой и линолевой кислот израсходовано 39,2 л водорода (н.у.). При гидролизе продукта гидрирования получено 23 г глицерина. Определите массу исходного жира и молярное соотношение непредельных кислот, полученных в результате его гидролиза.
458. Смесь глюкозы с одной из пентоз, входящих в состав нуклеиновых кислот, сожгли в 2,24 л кислорода, полученную газовую смесь привели к н.у. и пропустили в избыток раствора гидроксида бария, после чего выпало 15,76 г осадка и осталось 0,336 л газа (н.у.). Предложите структурную формулу этой пентозы, если известно, что при нагревании такого же количества исходной смеси веществ с избытком аммиачного раствора оксида серебра выделяется 3,24 г осадка.
459. Органические продукты гидролиза мононуклеотида, содержащего остаток цитозина, сожгли в 2,688 л кислорода, полученную газовую смесь привели к н.у. и пропустили в избыток раствора гидроксида бария, после чего выпало 17,73 г осадка и осталось 0,728 л газа (н.у.). Предложите одну из возможных структурных формул этого нуклеотида, если известно, что на нейтрализацию неорганического продукта его гидролиза потребовалось 25,23 мл раствора гидроксида калия с массовой долей щелочи 12 % и плотностью 1,11 г/мл.

#### 3.4.4. Определение числа фрагментов в высокомолекулярном соединении

460. 9,9 г продукта неполного гидролиза крахмала (декстрина) растворили в 9 мл раствора серной кислоты с массовой долей кислоты 0,15 и плотностью 1,111 г/мл. Раствор нагревали до окончания химических реакций, в результате чего получили раствор, в котором массовая доля воды составила 38,2 %. При нагревании этого раствора с избытком аммиачного раствора оксида серебра образовалось 12,96 г осадка. Определите число моносахаридных фрагментов, входивших в молекулу декстрина.
461. Продукт неполного гидролиза крахмала (декстрин) нагревали до окончания химических реакций с 43,86 мл раствора серной кислоты с массовой долей кислоты 20% и плотностью 1,14 г/мл. В результате этого был получен раствор, в котором массовая доля воды составила 16,76 %. Одну двадцатую часть этого раствора отобрали, кислоту нейтрализовали и нагревали с избытком аммиачного раствора оксида се-

- ребра, при этом образовалось 8,1 г осадка. Определите число моносахаридных фрагментов, входивших в молекулу декстрина.
462. Образец полипептида, состоящего из фрагментов глицина и лизина, массой 24,38 г растворили в 50 мл раствора соляной кислоты с массовой долей кислоты 36,5 % и плотностью 1,2 г/мл и нагревали до полного окончания гидролиза полипептида. Был получен раствор с плотностью 1,125 г/мл, в котором концентрация хлороводорода составила 2,67 моль/л, а массовая доля воды - 38,97 %. Определите общее число аминокислотных фрагментов в молекуле полипептида.
463. 24,38 г полипептида, состоящего из фрагментов глицина и лизина, растворили в 50 мл раствора соляной кислоты с массовой долей кислоты 36,5 % и плотностью 1,2 г/мл и нагревали до полного окончания гидролиза полипептида. Был получен раствор с плотностью 1,125 г/мл, в котором концентрация хлороводорода составила 2,67 моль/л, а массовая доля воды - 38,97 %. Определите общее число аминокислотных фрагментов в молекуле полипептида.
464. Образец полипептида массой 23,73 г, состоящего из фрагментов аланина и глутаминовой кислоты в численном соотношении 3:2, поместили в раствор гидроксида натрия объемом 64 мл с массовой долей щелочи 0,25 и плотностью 1,25 г/мл. После нагревания смеси до полного окончания гидролиза полипептида был получен раствор, имеющий плотность 1,153 г/мл, в котором концентрация гидроксида натрия составила 1,67 моль/л. Определите общее число аминокислотных остатков в молекуле полипептида.
465. Образец полипептида массой 23,73 г, состоящего из фрагментов аланина и глутаминовой кислоты, поместили в раствор гидроксида натрия объемом 64 мл с массовой долей щелочи 0,25 и плотностью 1,25 г/мл. После нагревания смеси до полного окончания гидролиза полипептида был получен раствор, имеющий плотность 1,153 г/мл, в котором концентрация гидроксида натрия составила 1,67 моль/л, а суммарная массовая доля солей 34,46 %. Определите общее число аминокислотных остатков в молекуле полипептида.
466. Образец пептида массой 13,02 г, состоящего из остатков глицина, серина и глутаминовой кислоты растворили в 33,06 мл раствора гидроксида натрия с массовой долей щелочи 20 % и плотностью 1,21 г/мл, после чего массовая доля щелочи в растворе уменьшилась до 10,56 %. Полученную смесь нагревали до окончания химических реакций. Массовая доля гидроксида натрия в конечной смеси оказалась равной 1,509 %, а массовая доля соли с наименьшей молярной массой - 7,318 %. Определите, сколько остатков каждой аминокислоты входило в состав пептида.
467. Образец пептида массой 3,695 г, состоящего из остатков глицина, фенилаланина и лизина, растворили в 13,62 мл раствора соляной кислоты с массовой долей хлороводорода 0,15 и плотностью 1,072 г/мл, после чего массовая доля хлороводорода в растворе уменьшилась до 8,978 %. Полученную смесь нагревали до окончания химических реакций. Массовая доля воды в конечной смеси оказалась равной 64,88 %, а массовая доля соли с наименьшей молярной массой - 9,142 %. Определите, сколько остатков каждой аминокислоты входило в состав пептида.
468. В результате сжигания образца двухцепочечной ДНК образовалось 54,88 мл оксида углерода (IV) и 10,36 мл азота. Определите соотношение числа остатков тимина и цитозина входящих в состав этой ДНК, если известно, что обе цепи имеют одинаковую длину и все азотистые основания строго комплементарны.
469. Образец двухцепочечной ДНК сожгли в избытке кислорода и получили газовую смесь, содержащую по объему 33 % оксида углерода (IV) и 6,45 % азота. Определите соотношение числа остатков аденина и гуанина, входящих в состав этой ДНК,

если известно, что обе цепи имеют одинаковую длину и все азотистые основания строго комплементарны.

470. Образец двухцепочечной ДНК, в которой все нуклеиновые основания строго комплементарны, сожгли в избытке кислорода. Образовавшуюся газовую смесь при н.у. пропустили через трубку, заполненную щелочью, в результате чего ее объем уменьшился в 2,05 раз. Остаток газовой смеси, имеющей плотность по водороду 15,6, пропустили через трубку с раскаленной медью, после чего масса трубки увеличилась на 1,6 мг. Определите соотношение остатков цитозина и аденина, входивших в состав молекулы ДНК.
471. Образец двухцепочечной ДНК, в которой все нуклеиновые основания строго комплементарны, сожгли в избытке кислорода. Образовавшуюся газовую смесь, имеющую плотность по воздуху 1,267 пропустили через нагретую трубку, заполненную медью, в результате чего ее объем уменьшился в 2 раза. Остаток газовой смеси пропустили через трубку со щелочью, после чего масса трубки увеличилась на 2,2 мг. Определите соотношение остатков тимина и гуанина, входивших в состав молекулы ДНК.

### 3.5. Тепловые эффекты химических реакций

472. При сгорании некоторого количества сахарозы выделилось 113,4 кДж теплоты. Определите теплоту сгорания сахарозы (в кДж/моль), если известно, что при растворении продуктов сгорания этого количества сахарозы в 85 мл раствора гидроксида натрия с массовой долей щелочи 0,15 и плотностью 1,13 г/мл образовался раствор с равными молярными концентрациями кислой и средней соли.
473. После нагревания 17,6 г предельного одноатомного спирта, имеющего неразветвленную углеродную цепь, с серной кислотой получили 14,9 г смеси простого эфира и двух изомерных алкенов. Напишите структурную формулу полученного простого эфира и рассчитайте его массу, если известно, что при сгорании 100 г исходного спирта выделяется 3636 кДж теплоты, а теплота сгорания его равна 3200 кДж/моль.
474. Для получения 1 моль озона в озонаторе расходуется 580 кДж электроэнергии, причем 75 % ее рассеивается в виде тепла и света. Определите состав озонированного воздуха (в массовых долях), полученного при пропускании через озонатор 10 л атмосферного воздуха, если известно, что при разложении образовавшегося озона выделилось 2,9 кДж теплоты. Считать, что атмосферный воздух содержит 21 % кислорода и 79 % азота (по объему).
475. В результате пропускания 10 л воздуха через озонатор плотность его увеличилась на 3,627 %. При разложении всего образовавшегося озона выделилось 4,53 кДж теплоты. Определите состав озонированного воздуха в процентах по объему и теплоту образования озона. Воздух считать состоящим из 21 % кислорода и 79 % азота (по объему).
476. 5,6 л азотно-кислородной смеси, в которой массовые доли веществ равны между собой, пропустили через озонатор, в результате чего плотность исходной газовой смеси оказалась на 4% меньше плотности конечной смеси. Определите состав полученной газовой смеси в % по объему и теплоту образования озона, если известно, что при разложении всего полученного озона выделилось 2,9 кДж теплоты. Все объемы измерены при нормальных условиях.

477. Смесь азота с кислородом, в которой массовые доли газов равны между собой, пропустили через озонатор, в результате чего плотность газовой смеси увеличилась на 4,17 %. Определите объем исходной смеси газов (н.у.) и состав полученной газовой смеси в % по объему, если известно, что при последующем разложении всего образовавшегося озона выделилось 2,9 кДж теплоты. Теплота образования озона равна -145 кДж/моль.
478. Некоторое количество смеси азота с кислородом, в которой массовые доли газов равны между собой, пропустили через озонатор, в результате чего объем газовой смеси уменьшился на 4 %. Определите объем исходной смеси газов (н.у.) и состав полученной газовой смеси в % по объему, если известно, что при последующем разложении всего образовавшегося озона выделилось 2,9 кДж теплоты, а теплота образования озона равна -145 кДж/моль.
479. Смесь аргона с кислородом, в которой массовые доли газов равны между собой, пропустили через озонатор. Определите объем исходной смеси газов (н.у.) и состав полученной газовой смеси в % по объему, если известно, что плотность исходной газовой смеси была на 5,55 % меньше плотности конечной газовой смеси при тех же условиях и что при последующем разложении всего образовавшегося озона выделилось 5,8 кДж теплоты. Теплота образования озона равна -145 кДж/моль.
480. При сжигании 11,2 л смеси метана и этана выделилось 646 кДж теплоты. Образовавшийся оксид углерода (IV) пропустили через 400 мл раствора гидроксида натрия с массовой долей щелочи 10 % и плотностью 1,1 г/мл. Определите состав образовавшегося раствора (в массовых долях), если известно, что теплоты сгорания метана и этана равны 890 и 1560 кДж/моль соответственно.
481. Сероводород смешали с кислородом и получили смесь с плотностью 1,4698 г/л (н.у.). Смесь подожгли, при горении выделилось 136,6 кДж теплоты. Определите объемы взятых газов (н.у.), если известно, что теплоты сгорания сероводорода до серы и до оксида серы (IV) равны 246 и 560 кДж/моль соответственно и что исходные вещества прореагировали полностью.
482. Смесь кислорода с сероводородом, имеющую плотность по воздуху 1,14, подожгли, в результате чего выделилось 185,8 кДж теплоты. Определите объемы газов в исходной смеси, если известно, что теплоты сгорания сероводорода до серы и до оксида серы (IV) равны 246 и 560 кДж/моль соответственно и что исходные вещества прореагировали полностью.
483. 14 л (н.у.) смеси сероводорода с кислородом с плотностью по водороду 16,56 подожгли, в результате чего выделилось 117,5 кДж теплоты. Определите теплоту сгорания сероводорода до оксида серы (IV), если известно, что оба исходных вещества прореагировали полностью и что при окислении кислородом 17 г сероводорода до серы выделяется 123 кДж теплоты.
484. Сосуд емкостью 2,8 л при н.у. заполнили смесью сероводорода с кислородом с плотностью по воздуху 1,142, и смесь подожгли, в результате чего выделилось 23,5 кДж теплоты. Определите теплоту сгорания сероводорода до оксида серы (IV), если известно, что оба исходных вещества прореагировали полностью и что при окислении кислородом 68 г сероводорода до серы выделяется 492 кДж теплоты.
485. При полном сгорании 27,4 г смеси метанола, этанола и гексана выделилось 943,6 кДж теплоты и образовалось 29,12 л (н.у.) оксида углерода (IV). Определите массовые доли веществ в исходной смеси, если известно, что теплоты сгорания метанола, этанола и гексана равны 636, 1378 и 4772 кДж/моль соответственно.

486. При полном сгорании смеси, содержащей по массе 35 % метанола, 33,6 % этанола и гексан выделилось 943,6 кДж теплоты. Определите объем образовавшегося при этом оксида углерода (IV), если известно, что теплоты сгорания метанола, этанола и гексана равны 636, 1378 и 4772 кДж/моль соответственно.
487. При полном сгорании 45,8 г раствора анилина и аланина в этаноле выделилось 1305 кДж теплоты и образовалось 2,24 л азота (н.у.). Определите массовые доли веществ в исходном растворе, если известно, что теплоты сгорания анилина, аланина и этанола равны 3320, 1590 и 1370 кДж/моль соответственно.
488. При полном сгорании раствора анилина и аланина в этаноле с массовой долей анилина 20,31 % выделилось 1305 кДж теплоты и образовалось 2,24 л азота (н.у.). Определите массу исходного раствора, если известно, что теплоты сгорания анилина, аланина и этанола равны 3320, 1510 и 1370 кДж/моль соответственно.
489. Два из трех газов (сероводород, кислород и водород) смешали и получили газовую смесь, плотность которой равна плотности третьего газа. Полученную газовую смесь смешали с равным объемом третьего газа и под давлением поместили в сосуд емкостью 2,8 л, заполненный водородом при нормальных условиях, и сосуд закрыли. В результате поджигания смеси газов в сосуде выделилось 219 кДж теплоты. Определите объемы взятых газов (н.у.), если известно, что теплота окисления сероводорода до серы и воды равна 246 кДж/моль, а теплоты сгорания водорода и сероводорода равны 286 и 560 кДж/моль соответственно.
490. Один и тот же сосуд при нормальных условиях поочередно заполняли тремя различными неорганическими газами, при этом сосуд каждый раз взвешивали, и его масса составляла 171, 123 и 168 г соответственно. Плотность третьего газа по второму равна 16, а плотность третьего газа по аммиаку равна 1,882. Эти газы смешали и полученную газовую смесь под давлением поместили в другой сосуд, заполненный при нормальных условиях одним из этих трех газов. В результате поджигания смеси газов в сосуде выделилось 1112 кДж теплоты. Определите массы образовавшихся веществ и объем второго сосуда, если известно, что теплоты сгорания водорода и сероводорода равны 286 и 560 кДж/моль соответственно, а теплота окисления сероводорода до серы и воды равна 246 кДж/моль.

### 3.6. Скорость химических реакций

471. Скорость реакции этерификации в растворе в толуоле, в котором массовая доля уксусной кислоты составляет 13,3 %, а массовая доля метанола 7,11 %, при 70°C равна 0,144 моль/л.мин. Плотность раствора 0,9 г/мл. Скорость реакции прямопропорциональна произведению молярных концентраций реагирующих веществ. Определите коэффициент пропорциональности в уравнении для скорости реакции при 40°C, если известно, что температурный коэффициент скорости реакции равен трем.
472. К раствору масляной кислоты в этиловом спирте добавили 6,94 мл 98 %-ной (по массе) серной кислоты (плотность 1,8 г/мл), при этом общий объем раствора составил 250 мл. На нейтрализацию 10 мл такого раствора потребовалось 8,33 мл раствора гидроксида натрия с массовой долей щелочи 20 % и плотностью 1,2 г/мл. Остальной раствор нагревали в течение 40 мин. После быстрого охлаждения на нейтрализацию 10 мл раствора потребовалось 6,67 мл такого же раствора щелочи. Определите среднюю скорость реакции этерификации в этом интервале времени.
473. К смеси этилового спирта с уксусной кислотой добавили 13,88 мл раствора серной кислоты с массовой долей кислоты 98 % и плотностью 1,8 г/мл, причем общий

- объем смеси составил 250 мл. При взаимодействии 10 мл такого раствора с избытком гидрокарбоната натрия выделилось 2,24 л газа(н.у.). Остальной раствор нагревали в течение 30 мин. После быстрого охлаждения при реакции 10 мл раствора с гидрокарбонатом натрия выделяется 1,12 л газа (н.у.). Определите среднюю скорость реакции этерификации в этом интервале времени.
474. Метилацетат смешали с некоторым количеством воды и получили раствор с плотностью 0,92 г/мл. 1 мл этого раствора отобрали и обработали избытком натрия, в результате чего выделилось 112 мл газа. В остальной раствор добавили каплю серной кислоты и выдерживали его при 50°C. Через 30 минут отобрали еще 1 мл раствора и также обработали избытком натрия, при этом выделилось 134,4 мл газа. Определите время, за которое при 70°C прогидролизуется 25% исходного метилацетата, если температурный коэффициент скорости этой реакции равен 2,5. Зависимостью скорости от концентраций пренебречь.
475. Скорость реакции кислотного гидролиза этилового эфира масляной кислоты в начальный период времени прямопропорциональна концентрации катализатора. Определите, какая масса сложного эфира прогидролизуется при обработке избытка его одним литром раствора серной кислоты с массовой долей кислоты 9% и плотностью 1,09 г/мл при 60°C в течение двух часов, если известно, что на нейтрализацию раствора, полученного в результате обработки такого же эфира при 40°C в течение 20 часов 10 мл раствора серной кислоты с концентрацией 0,1 моль/л потребовалось 25 мл раствора гидроксида натрия с концентрацией 0,1 моль/л. Температурный коэффициент скорости равен 2,4. (Растворимостью сложного эфира в воде и изменениями объема раствора пренебречь.)
476. Растворением метилацетата в воде приготовили 184 г раствора с плотностью 0,92 г/мл. От этого раствора отделили 5 мл и обработали избытком натрия, в результате чего выделилось 560 мл газа. К остальному раствору добавили каплю серной кислоты и выдерживали при 50 °C в течение 45 минут, затем раствор охладили, отделили от него еще 5 мл и также обработали избытком натрия, в результате чего выделилось 672 мл газа. Остальной раствор нагревали при 60 °C еще 10 минут. Определите массы органических веществ, содержащихся в полученной смеси. Температурный коэффициент скорости реакции равен 2,5, зависимостью скорости от концентраций пренебречь.
477. Растворением метилацетата в воде приготовили раствор с плотностью 0,92 г/мл. От этого раствора отделили 5 мл и обработали избытком натрия, в результате чего выделилось 560 мл газа. К остальному раствору добавили каплю серной кислоты и выдерживали при 50 °C в течение 45 минут, затем раствор охладили, отделили от него еще 5 мл и также обработали избытком натрия, в результате чего выделилось 672 мл газа. Остальной раствор нагревали при 60 °C еще 10 минут. Определите массы метилацетата в исходном и конечном растворах, если известно, что масса метанола в конечном растворе составила 18,9 г. Температурный коэффициент скорости реакции равен 2,5, зависимостью скорости от концентраций пренебречь.
478. Скорость кислотного гидролиза бутилацетата, протекающего в водной среде, в начальный период времени прямопропорциональна концентрации катализатора и не зависит от концентраций реагирующих веществ. Определите, какая масса бутилацетата прогидролизуется при обработке его избытка 5 литрами раствора серной кислоты с массовой долей кислоты 17,8 % и плотностью 1,1 г/мл в течение 2 часов при 60 °C. Известно, что на нейтрализацию водного раствора, полученного в результате обработки этого же эфира при 30 °C в течение 40 часов раствором серной кислоты объемом 10 мл с концентрацией 0,15 моль/л, потребовалось 30 мл раствора щелочи той же концентрации. Температурный коэффициент скорости реакции

равен 3,2. (Изменениями объема при реакции пренебречь, растворимость бутил-ацетата в воде мала).

479. Скорость реакции спиртового брожения глюкозы не зависит от ее концентрации и прямопропорциональна концентрации ферментов. Определите выход этанола, полученного в результате брожения смеси 8 л 16,82%-ного (по массе) раствора глюкозы (плотность 1,07 г/мл) с 2 л дрожжевого экстракта в течение двух суток, если известно, что при той же температуре за 1 час из смеси 100 мл раствора глюкозы с 100 мл такого же дрожжевого экстракта выделяется 336 мл углекислого газа (н.у.). Растворимостью углекислого газа в воде и изменениями объемов растворов пренебречь.
480. При 38°C из смеси 50мл раствора глюкозы и 50 мл дрожжевого экстракта за 30 минут выделилось 1,68 л углекислого газа (н.у.). Рассчитайте время, за которое при 18°C 80% всей глюкозы, содержащейся в растворе, полученном смешиванием 8 л раствора глюкозы с массовой долей 16,82% и плотностью 1,07 г/мл с 2 л такого же дрожжевого экстракта, превратилось в спирт. Скорость реакции спиртового брожения глюкозы не зависит от ее концентрации и прямопропорциональна концентрации фермента, температурный коэффициент скорости реакции брожения в данном интервале температур равен 4. Растворимостью углекислого газа в воде и изменениями объема раствора пренебречь.
481. Рассчитайте время, за которое 70% всей глюкозы, содержащейся в растворе, полученном смешиванием 12 л раствора глюкозы, в которой молярная концентрация органического вещества составляет 0,75 моль/л, с 1 л дрожжевого экстракта, при 28 °C превратится в спирт, если известно, что при 38 °C из смеси 100 мл раствора глюкозы с 50 мл такого же дрожжевого экстракта за 1 час выделилось 840 мл углекислого газа. Скорость реакции спиртового брожения не зависит от концентрации глюкозы и прямопропорциональна концентрации ферментов, а температурный коэффициент скорости равен 8.
482. 24 л раствора глюкозы с массовой долей органического вещества 16,82 % и плотностью 1,07 г/мл смешали с 1 л дрожжевого экстракта и выдерживали при определённой температуре трое суток. Определите массу образовавшегося спирта и его выход в расчете на глюкозу, если известно, что при той же температуре за два часа из смеси 150 мл раствора глюкозы с 50 мл такого же дрожжевого экстракта выделилось 1,12 л углекислого газа (н.у.). Скорость спиртового брожения не зависит от концентрации глюкозы и прямопропорциональна концентрации ферментов.
483. 1 л дрожжевого экстракта смешали с 19 л раствора глюкозы с массовой долей органического вещества 18 % и плотностью 1,0556 г/мл и выдерживали при 20 °C двое суток. Определите массу образовавшегося спирта и его выход в расчете на глюкозу, если известно, что при 30 °C за два часа из смеси 100 мл раствора глюкозы с 50 мл такого же дрожжевого экстракта выделилось 1,12 л углекислого газа (н.у.). Скорость спиртового брожения не зависит от концентрации глюкозы и прямопропорциональна концентрации ферментов, а температурный коэффициент скорости реакции равен трем.
484. Для определения скорости реакции ферментативного гидролиза сахарозы, которая не зависит от ее концентрации и прямопропорциональна концентрации фермента, 1 мл раствора фермента смешали с 19 мл раствора сахарозы и выдерживали при 25°C в течение 60 минут, после чего в раствор добавили избыток аммиачного раствора оксида серебра и нагрели. Масса выпавшего осадка составила 0,54 г. Определите время, за которое при той же температуре 75% сахарозы, содержащейся в 936 г ее раствора с массовой долей 17,1% и плотностью 1,04 г/мл, прогидролизуется после добавления 100 мл такого же раствора фермента.

485. Скорость реакции ферментативного гидролиза сахарозы не зависит от ее концентрации и прямопропорциональна концентрации ферментов. Для экспериментального определения этой скорости 5 мл раствора сахарозы смешали с равным объемом раствора фермента и выдерживали при 25 °С в течение 30 минут, затем туда добавили избыток аммиачного раствора оксида серебра и нагрели. Выпало 0,27 г осадка. Определите время, необходимое для гидролиза при той же температуре 50% сахарозы, содержащейся в 4,68 кг ее раствора с плотностью 1,04 г/мл и массовой долей 17,1 % после добавления 500 мл такого же раствора фермента.
486. После контакта слоя бензола площадью 10 см<sup>2</sup> со смесью водных растворов серной и азотной кислот в течение 20 часов при 20°С масса водного слоя уменьшилась на 0,45 г. Определите выход нитробензола через два часа после начала реакции, если в реакцию взяли 200 г бензола, проводили ее при 60°С и площадь контакта двух слоев составляла 200 см<sup>2</sup>. Температурный коэффициент скорости реакции равен 2,6. Нитробензол в водном слое нерастворим.
487. В цилиндрический стакан диаметром 12 см, содержащий 100 мл водного раствора смеси азотной и серной кислот с массовой долей последней 40% и с плотностью 1,45 г/мл, сверху налили толстый слой бензола. После стояния в течение 100 часов при 20 °С массовая доля серной кислоты в водном слое увеличилась и стала 40,25 %. Определите время, необходимое для получения 184,5 г нитробензола при температуре 50 °С и при площади контакта двух жидкостей 1500 см<sup>2</sup>. Температурный коэффициент скорости реакции равен 2,2. Нитробензол в водном слое нерастворим.
488. В цилиндрический сосуд диаметром 20 см поместили 163,4 мл водного раствора смеси азотной и серной кислот с плотностью 1,53 г/мл и массовой долей серной кислоты 30 % и сверху налили толстый слой толуола и выдерживали при 50 °С. Через 80 часов массовая доля серной кислоты в водном растворе увеличилась до 31,71 %, а в органическом слое появились орто- и пара-нитротолуолы в молярном соотношении 1:2. Определите массы нитротолуолов, которые образуются при нагревании толуола при 80 °С над таким же раствором кислот в течение 2 часов в сосуде кубической формы емкостью 8 л, если известно, что температурные коэффициенты скорости реакции равны 3,2 и 2,8 для орто- и пара-нитротолуолов соответственно.
489. В сосуд кубической формы емкостью 1 л поместили раствор серной кислоты с массовой долей кислоты 9% и плотностью 1,089 г/мл и сверху налили толстый слой растительного масла. После стояния сосуда в течение 10 часов при 20°С в водном слое появилось 0,92 г глицерина. Определите количество жирных кислот, которые образуются при выдерживании слоя этого масла над водным раствором серной кислоты с концентрацией 3 моль/л в цилиндрическом сосуде диаметром 25 см за 30 минут при температуре 50°С, учитывая, что скорость данной гетерогенной реакции прямопропорциональна концентрации ионов водорода в неорганическом слое и ее температурный коэффициент равен трем. Изменениями объема водного слоя пренебречь.
490. В сосуд прямоугольной формы с площадью поперечного сечения 200 см<sup>2</sup> при 40 °С поместили раствор серной кислоты с массовой долей кислоты 4,75 % (плотность 1,032 г/мл) и сверху налили слой жидкого жира, содержащего остатки только линолевой кислоты. Через 25 часов в водном слое появилось 2,3 г глицерина. Определите массу линолевой кислоты, образующейся при выдерживании слоя такого же жира при 60 °С в цилиндрическом сосуде диаметром 20 см в течение 10 часов в контакте с раствором серной кислоты с массовой долей кислоты 20,9 % и плотностью 1,17 г/мл, учитывая, что скорость данной реакции прямопропорциональна

концентрации катализатора, температурный коэффициент реакции равен 2,5 и что гидролиз молекулы жира сразу проходит до конца. Изменениями объема водного слоя пренебречь.

491. Определите количество вещества жирных кислот, образующихся при выдерживании слоя растительного масла над раствором серной кислоты с массовой долей кислоты 9% и плотностью 1,089 г/мл при 30 °С в течение 15 часов в сосуде кубической формы емкостью 8 л, если известно, что при выдерживании слоя такого же масла над раствором серной кислоты с концентрацией 3 моль/л в сосуде цилиндрической формы диаметром 25 см при 50 °С через 30 мин образуется 18,9 г глицерина. Скорость данной реакции прямопропорциональна концентрации катализатора, температурный коэффициент ее равен 3, гидролиз молекулы жира происходит сразу до конца. Изменениями объема водного слоя пренебречь.
492. В сосуд кубической формы высотой 15 см при 50 °С поместили раствор серной кислоты с массовой долей кислоты 4,75 % (плотность 1,032 г/мл) и сверху налили слой жидкого жира, содержащего остатки только линоленовой кислоты. Через 20 часов в водном слое появилось 1,15 г глицерина. Определите массу линоленовой кислоты, образующейся при выдерживании слоя такого же жира при 70 °С в цилиндрическом сосуде диаметром 30 см в течение 5 часов в контакте с раствором серной кислоты с массовой долей кислоты 20,9 % и плотностью 1,17 г/мл, учитывая, что скорость данной реакции прямо пропорциональна концентрации катализатора, температурный коэффициент реакции равен 2,5, и что гидролиз молекулы жира сразу проходит до конца. Изменениями объема водного слоя пренебречь.
493. При выдерживании слоя растительного масла над раствором серной кислоты с концентрацией 5 моль/л в сосуде цилиндрической формы диаметром 25 см при 60 °С через 45 мин образуется 6,3 г глицерина. Определите количество вещества жирных кислот, образующихся при выдерживании слоя такого же масла над раствором серной кислоты с массовой долей кислоты 9% и плотностью 1,089 г/мл при 40 °С в течение 15 часов в сосуде кубической формы емкостью 27 л. Скорость данной реакции прямопропорциональна концентрации катализатора, температурный коэффициент ее равен 2,5. Гидролиз молекулы жира происходит сразу до конца. Изменениями объема водного слоя пренебречь.

### 3.7. Химическое равновесие.

512. В сосуд емкостью 3 л, заполненный азотом (н.у.), поместили некоторое количество оксида серы (VI) и катализатор ( $V_2O_5$ ). Сосуд закрыли и нагревали при 650 °С до установления равновесия. Образовавшуюся газовую смесь быстро привели к нормальным условиям и пропустили через избыток раствора гидроксида натрия. При этом образовался раствор с равными массовыми долями двух солей и осталось 8,6 л газовой смеси. Определите концентрации веществ в сосуде в момент достижения равновесия.
513. В сосуд емкостью 5,6 л, заполненный кислородом, при н.у. поместили 3,2 г серы и катализатор ( $V_2O_5$ ). Сосуд нагревали при определенной температуре до установления химического равновесия. После охлаждения образовавшуюся смесь обработали избытком раствора гидроксида натрия. При этом образовалось 13,4 г смеси солей. Рассчитайте равновесные концентрации веществ, учитывая, что при данной температуре оксид серы (VI) находится в виде газа.
514. В сосуд емкостью 2,8 л, заполненный кислородом при н.у., поместили некоторое количество серы и катализатор ( $V_2O_5$ ). Сосуд нагревали при определенной темпе-

- ратуре до установления химического равновесия. После охлаждения реакцию смесь обработали избытком гидроксида калия, при этом образовалось 6,7 г солей и осталось 1,4 л газа (н.у.). Рассчитайте равновесные концентрации веществ и массу взятой серы, учитывая, что при данной температуре оксид серы (VI) находится в виде газа.
515. В сосуд, заполненный при н.у. азотом, поместили некоторое количество оксида серы (VI) и катализатор ( $V_2O_5$ ). Сосуд закрыли и нагревали при  $400^\circ\text{C}$  до установления равновесия. Образовавшуюся смесь веществ быстро привели к нормальным условиям и обработали избытком раствора щелочи, в результате чего образовался раствор с равными молярными концентрациями двух солей, и осталось 16,8 л газовой смеси с плотностью 1,369 г/л. Определите массу взятого оксида серы (VI) и концентрации веществ в сосуде в момент достижения равновесия.
516. 6,4 г серы сожгли в избытке кислорода и полученную газовую смесь нагрели в присутствии катализатора ( $V_2O_5$ ) до установления равновесия. Равновесную смесь охладили и пропустили через 10 мл раствора серной кислоты с массовой долей кислоты 95 % и плотностью 1,8 г/мл, при этом образовался олеум с массовой долей серной кислоты 73,33 %, и осталось 3,36 л газа (н.у.). Определите объем кислорода (н.у.), взятого для сжигания серы. Растворимостью оксида серы (IV) в олеуме пренебречь.
517. Некоторое количество серы сожгли в избытке кислорода и полученную газовую смесь нагревали с катализатором ( $V_2O_5$ ) до установления равновесия. Равновесную смесь охладили и пропустили через 100 мл раствора серной кислоты с массовой долей кислоты 95 % и плотностью 1,8 г/мл. При этом образовался олеум с массовой долей кислоты 80 %, и осталось 13,44 л газа с плотностью по водороду 20 (н.у.). Определите массу серы и объем взятого для ее сжигания кислорода. Растворимостью оксида серы (IV) в олеуме пренебречь.
518. 36 г пирита прокалили в избытке кислорода и полученную газовую смесь нагревали в присутствии оксида ванадия (V) до установления равновесия. Равновесную смесь быстро охладили и пропустили через 20 мл раствора серной кислоты с массовой долей кислоты 90 % и плотностью 1,8 г/мл. При этом образовался олеум с массовой долей серной кислоты 0,7647, и осталось 15,12 л газов (н.у.). Определите объем кислорода, взятого для обжига пирита. Растворимостью оксида серы (IV) в олеуме пренебречь.
519. Газовую смесь, образовавшуюся в результате прокаливании сульфида цинка в избытке кислорода, нагрели в присутствии оксида ванадия (V) до установления равновесия. Равновесную смесь быстро охладили и пропустили через 20 мл раствора серной кислоты с массовой долей кислоты 95 % и плотностью 1,8 г/мл. При этом образовался олеум с массовой долей серной кислоты 0,846, и осталось 6,72 л газовой смеси с плотностью по воздуху 1,471 (н.у.). Определите массу сульфида цинка и объем взятого для обжига кислорода. Растворимостью оксида серы (IV) в олеуме пренебречь.
520. Некоторое количество медного колчедана ( $CuFeS_2$ ) прокалили в избытке кислорода и образовавшуюся газовую смесь нагревали в присутствии оксида ванадия (V) до установления химического равновесия. Равновесную смесь быстро охладили и пропустили через 50 мл раствора серной кислоты с массовой долей кислоты 96 % и плотностью 1,8 г/мл, в результате чего образовался олеум с массовой долей оксида серы (VI) 7,02% и осталось 8,96 л газовой смеси с плотностью 1,786 г/л (н.у.). Определите массу взятого медного колчедана и объем израсходованного кислорода. Растворимостью оксида серы (IV) в олеуме пренебречь.

521. В сосуд, заполненный смесью водорода и кислорода с плотностью по воздуху 0,9557, поместили 6,4 г серы и катализатор ( $V_2O_5$ ). Сосуд закрыли и нагревали при высокой температуре до установления химического равновесия, затем быстро охладили. Определите состав образовавшегося при этом олеума (в массовых долях) если известно, что плотность по азоту оставшегося в сосуде газа равна 2,057, а его объем после приведения к нормальным условиям составил 2,8 л. Растворимостью оксида серы (IV) в олеуме пренебречь.
522. Сосуд емкостью 15,68 л, содержащий катализатор ( $V_2O_5$ ), заполнили при н.у. смесью сероводорода и кислорода, сосуд закрыли и нагревали при высокой температуре до установления химического равновесия. Затем сосуд быстро охладили до  $0^\circ C$ , в результате чего образовалось 8,525 мл жидкости с плотностью 1,83 г/мл, и в сосуде осталась смесь газов с плотностью 0,4592 г/л. Определите молярные концентрации газов в конечной газовой смеси и состав полученной жидкости (в массовых долях). Растворимостью оксида серы (IV) в серной кислоте пренебречь.
523. Газы, полученные при нагревании пирита в замкнутом сосуде с избытком смеси кислорода с азотом, имеющей плотность по воздуху, равную 1, выдерживали в присутствии оксида ванадия (V) до установления химического равновесия. Равновесную смесь пропустили через 140 мл раствора гидроксида натрия с плотностью 1,143 г/мл и массовой долей соли 12,5 %, получив при этом раствор с равными молярными концентрациями трех солей. Определите массу исходного пирита и объем взятой газовой смеси (н.у.), если известно, что плотность оставшегося после всех операций газа на 2,5 % меньше плотности воздуха, измеренной при тех же условиях.
524. В сосуд емкостью 5,6 л, заполненный кислородом при н.у. поместили 4,8 г серы и катализатор ( $V_2O_5$ ). Сосуд нагревали при температуре  $500^\circ C$  до установления химического равновесия, причем равновесная концентрация кислорода в этих условиях составила 0,00893 моль/л. Затем сосуд нагрели до  $550^\circ C$ , и опять наступило состояние химического равновесия. Определите молярные концентрации веществ в этой равновесной смеси, если известно, что скорость прямой реакции прямопропорциональна концентрации оксида серы (IV) и не зависит от концентрации кислорода и ее температурный коэффициент равен 2,2, а скорость обратной реакции прямопропорциональна концентрации оксида серы (VI), а ее температурный коэффициент равен 2,4.
525. 17,1 г смеси азота, водорода и аммиака с плотностью по водороду 9,5 нагрели в присутствии железного катализатора до установления равновесия, затем равновесную смесь быстро охладили и пропустили через избыток фосфорной кислоты, причем образовалось 34,5 г соли. Определите состав исходной и равновесной газовых смесей в % по объему, если известно, что плотность исходной газовой смеси на 22,2 % больше плотности равновесной (н.у.).
526. Газовую смесь, полученную в результате нагревания смеси цинка и хлорида аммония с избытком концентрированного раствора щелочи, нагревали в присутствии железного катализатора до установления химического равновесия. Равновесную смесь быстро привели к нормальным условиям и пропустили через избыток разбавленной соляной кислоты, в результате чего ее объем уменьшился на 28,57%. Оставшаяся газовая смесь имела объем 5,6 л и плотность по кислороду 0,225. Определите массовые доли цинка и хлорида аммония в исходной смеси.
527. Газы, выделившиеся в результате взаимодействия 25,2 г смеси алюминия и сульфата аммония с избытком концентрированного раствора щелочи, нагревали в присутствии железного катализатора до установления химического равновесия, после чего плотность газовой смеси уменьшилась на 25 %. Равновесную смесь газов

- пропустили над избытком нагретого оксида меди. Объем газа при этом уменьшился на 81,25 %. Определите массовые доли веществ в исходной смеси алюминия и сульфата аммония и объемные доли газов в равновесной смеси. Все плотности и объемы измерены при нормальных условиях.
528. В толстостенный железный сосуд емкостью 2,8 л, заполненный при н.у. азотом поместили 10,15 г смеси хлорида аммония и оксида меди. Сосуд закрыли и нагревали до окончания всех химических реакций и до установления химического равновесия. После быстрого охлаждения и приведения к нормальным условиям объем газов, содержащихся в сосуде, оказался равным 7,28 л. Определите объемные доли газов в равновесной смеси, если известно, что масса твердых веществ, образовавшихся в сосуде, составила 13,67 г.
529. Смесь азота и водорода с плотностью по воздуху 0,338 под давлением поместили в железный сосуд емкостью 2,5 л и нагревали при 400 °С до установления химического равновесия. Плотность газовой смеси в этих условиях составила 3,92 г/л. Сосуд быстро охладили и часть газовой смеси пропустили через 10 мл соляной кислоты с плотностью 1,15 г/мл и получили раствор, имеющий сильно кислую реакцию среды и массовую долю соли 21,66 %. Остальную газовую смесь нагревали в том же сосуде при температуре 360 °С до состояния равновесия плотность газовой смеси тогда составила 2,94 г/л. Определите молярные концентрации веществ в этой равновесной смеси, если известно, что скорость прямой реакции прямопропорциональна концентрации водорода и имеет температурный коэффициент 2,1, а скорость обратной реакции прямопропорциональна концентрации аммиака и имеет температурный коэффициент 2,4.
530. 20,16 л азотно-кислородной смеси нагревали при температуре 3000 °С до установления химического равновесия. Равновесную смесь быстро охладили до комнатной температуры и спустя некоторое время пропустили через 100 мл воды, после чего осталось 12,32 л смеси малорастворимых в воде газов с плотностью по водороду 15,27. Определите состав образовавшегося раствора (в массовых долях) и объемные доли веществ в исходной газовой смеси. Все объемы измерены при нормальных условиях.
531. 42,56 л (н.у.) смеси азота с кислородом нагревали при температуре выше 3000 °С до установления химического равновесия. Равновесную газовую смесь быстро охладили, выдержали при 50 °С и обработали 50 мл воды при той же температуре, после чего осталось 11,2 л малорастворимой в воде газовой смеси, имеющей плотность по кислороду 0,8875 и приобретающей бурый цвет при смешивании с воздухом. Определите массовую долю растворенного в воде вещества и объемные доли газов в исходной газовой смеси.
532. 42,5 г нитрата серебра подвергли термическому разложению. Полученную газовую смесь нагревали при некоторой температуре до установления химического равновесия. Определите массы веществ в равновесной смеси, если известно, что ее плотность по воздуху равна 1,125. Реакция образования оксида азота (IV) из оксида азота (II) обратима.
533. 56,4 г нитрата меди подвергли термическому разложению. Полученную газовую смесь нагревали при 600 °С до установления химического равновесия. Определите массы веществ в равновесной газовой смеси, если известно, что ее плотность по воздуху равна 1,397 и что реакция образования оксида азота (IV) и оксида азота (II) и кислорода обратима.
534. Газовую смесь, полученную термическим разложением нитрата ртути, нагревали при 700 °С до установления химического равновесия. Плотность равновесной смеси

по водороду оказалась равной 19,02. Определите массовые доли веществ в равновесной газовой смеси, если известно, что реакция образования оксида азота (IV) из оксида азота (II) и кислорода обратима.

535. Газовую смесь, полученную в результате термического разложения 26,4 г смеси нитратов меди и серебра, нагревали при некоторой температуре до установления химического равновесия. Массовая доля кислорода в равновесной смеси составила 27,59%, а ее плотность по воздуху оказалась равной 1,333. Определите массовые доли веществ в исходной смеси солей, если известно, что реакция образования оксида азота (IV) из оксида азота (II) и кислорода обратима.
536. Некоторое количество смеси нитратов меди и серебра подвергли термическому разложению, в результате чего было получено 14,8 г твердого остатка и газовая смесь, которую нагрели до высокой температуры до установления химического равновесия. После быстрого приведения равновесной газовой смеси к нормальным условиям оказалось, что она содержит 59,48% по массе оксида азота (IV) и ее плотность составляет 1,726 г/л. Определите массовые доли веществ в исходной смеси солей, если известно, что реакция образования оксида азота (IV) из оксида азота (II) и кислорода обратима.
537. Газовую смесь, образовавшуюся после прокаливания смеси нитратов серебра и меди нагревали при некоторой температуре до установления химического равновесия. Равновесная смесь имела массу 23,2 г и плотность по воздуху 1,231. Затем эту газовую смесь медленно охладили и обработали избытком воды, после чего осталось 1,12 л (н.у.) малорастворимого в воде газа. Определите массовые доли веществ в исходной смеси солей, и объемные доли веществ в равновесной смеси.
538. В сосуд емкостью 5 л под давлением при некоторой температуре поместили смесь кислорода и оксида азота(II) с плотностью по водороду 15,5, при этом плотность газовой смеси в сосуде составила 3,1 г/л. Через некоторое время концентрация оксида азота (IV) в сосуде составила 0,02 моль/л, а скорость прямой реакции, измеренной по кислороду была в 2 раза больше скорости обратной реакции, измеренной по оксиду азота (IV). Определите молярные концентрации веществ в смеси после достижения равновесия, если известно, что скорость прямой реакции прямопропорциональна произведению концентраций исходных веществ, а скорость обратной реакции прямопропорциональна концентрации продукта реакции.
539. При обработке 25,8 г смеси уксусной кислоты с этанолом избытком натрия выделилось 5,6 л газа (н.у.). В такое же количество исходной смеси добавили каплю серной кислоты и нагревали до установления равновесия. Смесь охладили и также обработали избытком натрия, при этом выделилось 4,48 л газа (н.у.). Определите равновесные концентрации веществ, если плотность равновесной смеси равна 0,9 г/мл. Реакцией натрия с серной кислотой пренебречь.
540. Некоторое количество смеси метилацетата и воды, в которой массовая доля метилацетата составляет 84,57 %, обработали избытком натрия, при этом выделилось 3,36 л газа (н.у.). В такое же количество смеси добавили каплю серной кислоты и нагревали до установления равновесия, затем равновесную смесь охладили и также обработали избытком натрия, причем выделилось 5,6 л газа (н.у.). Определите массовые доли веществ в равновесной смеси. Реакцией натрия с серной кислотой пренебречь.
541. В раствор муравьиной кислоты в метаноле с плотностью 0,87 г/мл, в котором концентрация ионов водорода равна 0,001 моль/л, а степень диссоциации кислоты 0,02 % добавили каплю серной кислоты и нагревали до установления равновесия. Определите концентрации веществ в равновесной смеси, если известно, что массовая

- доля воды в ней составила 6,2 %. Изменениями массы и объема раствора пренебречь.
542. Раствор трихлоруксусной кислоты в метаноле с плотностью 1,301 г/мл, в котором суммарная молярная концентрация всех частиц составляет 17,2 моль/л, а степень диссоциации кислоты 20 % нагревали до установления химического равновесия. Определите массовые доли веществ в исходной и равновесной смеси, если известно, что суммарная молярная концентрация всех частиц в последней составила 16,4 моль/л. Изменениями плотности раствора и степени диссоциации кислоты пренебречь.
543. 19,2 г метилового эфира трифторуксусной кислоты растворили в 95 мл раствора серной кислоты с плотностью 1,032 г/мл и массовой долей кислоты 5 %. Полученный раствор нагревали при некоторой температуре до установления химического равновесия. Определите массовые доли и молярные концентрации веществ в равновесной смеси, если известно, что она имела плотность 1,1 г/мл, концентрация ионов водорода в ней составила 1,127 моль/л и степень диссоциации трифторуксусной кислоты в этих условиях равна 0,2.
544. От раствора этилформиата в воде, в котором массовая доля сложного эфира составляет 80,43 %, отделили пятую часть и обработали избытком натрия, в результате чего выделилось 3,36 л (н.у.) газа. К оставшемуся раствору добавили каплю серной кислоты и нагревали его при некоторой температуре до установления химического равновесия. Равновесную смесь быстро охладили, опять отделили пятую часть и также обработали избытком натрия, при этом выделилось 4,48 л (н.у.) газа. Определите массовые доли веществ в равновесной смеси.
545. 13,2 г этилацетата растворили в воде, добавили серную кислоту, и получили 1 л раствора, который выдерживали при 30 °С. В некоторый момент времени концентрация уксусной кислоты в растворе достигла 0,03 моль/л, а скорость прямой реакции была в 4 раза больше скорости обратной реакции. Определите концентрации органических веществ в состоянии равновесия при 70 °С, если известно, что температурный коэффициент прямой реакции равен 1,861 и ее скорость прямопропорциональна концентрации этилацетата, а температурный коэффициент обратной реакции равен 2,115 и ее скорость прямопропорциональна произведению концентраций спирта и уксусной кислоты. Изменениями объема раствора пренебречь.
546. К 1 л раствора муравьиной кислоты в метиловом спирте с массовой долей кислоты 1,7 % и плотностью 0,8138 г/мл добавили каплю серной кислоты и выдерживали при 40 °С. В некоторый момент времени концентрация метилформиата в растворе достигла 0,1 моль/л, а скорость прямой реакции была в 5 раза больше скорости обратной реакции. Определите концентрации реагирующих веществ в состоянии равновесия при 60 °С, если известно, что температурный коэффициент прямой реакции равен 3 и ее скорость прямопропорциональна концентрации муравьиной кислоты, а температурный коэффициент обратной реакции равен 2,45 и ее скорость прямопропорциональна произведению концентраций сложного эфира и воды. Изменениями объема раствора пренебречь.
547. В двухлитровый сосуд поместили 27 г воды и катализатор, затем под давлением сосуд заполнили метаном и нагрели до температуры, при которой происходит реакция конверсии метана. Плотность газовой смеси в этих условиях составила 25,5 г/л. В некоторый момент времени скорость прямой реакции, измеренной по метану была в 1,333 раза больше скорости обратной реакции, измеренной по водороду, а концентрация оксида углерода (II) составила 0,25 моль/л. Определите состав газовой смеси (в % по объему) в момент достижения равновесия, если известно, что скорость прямой реакции прямопропорциональна концентрации метана и не зави-

сит от концентрации воды, а скорость обратной реакции прямопропорциональна концентрации водорода и не зависит от концентрации  $\text{CO}$ .

548. В 200 мл раствора хлорида аммония с массовой долей соли 10% и плотностью 1,07 г/мл растворили 8,96 л (н.у.) триметиламина, затем полученный раствор осторожно выпарили и получили сухой остаток массой 34 г. Определите состав полученного остатка в массовых долях и количественно оцените соотношение основных свойств триметиламина и аммиака, считая, что при выпаривании не происходит смещения установившегося в растворе равновесия. Объясните полученный результат.
549. К 130 мл раствора формиата натрия с массовой долей соли 5% и плотностью 1,046 г/мл добавили 9,45 г хлоруксусной кислоты. Полученный раствор осторожно упарили и получили 10,68 г сухого остатка. Определите массы веществ в сухом остатке и количественно оцените соотношение кислотных свойств муравьиной и хлоруксусной кислот, считая, что при выпаривании не происходит смещения установившегося в растворе равновесия и избыток кислот полностью испаряется. Объясните полученный результат.
550. Аммиак, полученный из 13,44 л водорода с выходом 75 %, пропустили в 200 мл раствора хлорида алюминия с массовой долей соли 6,2 % и плотностью 1,0766 г/мл, затем в полученной смеси растворили 6,72 л (н.у.) метиламина. Реакционную массу осторожно выпарили и получили 27,35 г сухого остатка. Определите состав полученного остатка в массовых долях и количественно оцените соотношение основных свойств метиламина и аммиака, считая, что при выпаривании не происходит смещения установившегося в растворе равновесия. Объясните полученный результат.
551. 22,4 л смеси аммиака с диметиламином с плотностью 1,384 г/л (н.у.) растворили в 180 мл раствора хлорида железа (II) с массовой долей соли 0,15 и плотностью 1,176 г/мл. Полученную смесь осторожно упарили, в результате чего образовалось 61,85 г сухого вещества. Определите массы веществ, содержащихся в сухом остатке, и количественно оцените соотношение основных свойств диметиламина и аммиака, считая, что при выпаривании не происходит смещения установившегося в растворе равновесия. Объясните полученный результат.
552. К 100 мл водного раствора с плотностью 0,96 г/мл, содержащего по массе 15,42 % этилформиата и 18,33 % этилацетата, добавили 120 г раствора гидроксида натрия с концентрацией 5 моль/л и плотностью 1,2 г/мл и нагревали до окончания химических реакций, затем туда же пропустили 6,72 л хлороводорода. Полученный раствор осторожно выпарили и получили 31,85 г сухого остатка. Определите его состав в массовых долях и количественно оцените соотношение кислотных свойств муравьиной и уксусной кислот, считая, что при выпаривании не происходит смещения установившегося в растворе равновесия и избыток кислот полностью испаряется. Объясните полученный результат.
553. Герметичный сосуд емкостью 105 мл на одну треть заполнили раствором гидроксида калия с массовой долей щелочи 40 % и плотностью 1,4 г/мл и под давлением закачали оксидом углерода (II), в результате чего плотность газа в сосуде составила 200 г/л. Сосуд нагревали до тех пор, пока плотность газа не уменьшилась в 2,5 раза. К полученному раствору добавили 88,2 г раствора азотной кислоты с плотностью 1,15 г/мл и концентрацией 4,563 моль/л и 39,75 г хлорацетата калия. Образовавшуюся смесь осторожно упарили и получили 72,19 г сухого остатка. Определите массы веществ в сухом остатке и количественно оцените соотношение кислотных свойств муравьиной и хлоруксусной кислот, считая, что при выпаривании не происходит смещения установившегося в растворе равновесия и избыток кислот полностью испаряется. Объясните полученный результат.

### 3.8. Вытеснение одного металла другим

553. Смесь веществ, образовавшихся после реакции алюминия со смешанным оксидом железа, обработали раствором щелочи, в результате чего выделилось 1,344 л газа. При обработке такого же количества этой смеси избытком соляной кислоты выделяется 5,376 л газа (н. у.). Определите массовые доли веществ в исходной смеси алюминия с оксидом железа.
554. К 62 г смеси оксида хрома (VI) и оксида железа (III) добавили некоторое количество алюминия и все нагрели. Половину реакционной смеси растворили в избытке соляной кислоты на воздухе, а вторую половину обработали избытком раствора щелочи. В первом случае выделилось 12,32 л газа, а во втором - 3,36 л газа (н.у.). Определите массовую долю алюминия в его исходной смеси с оксидами.
555. 33,65 кг смеси алюминия с оксидом цинка и оксидом железа (III) нагрели. После завершения экзотермической реакции из полученного сплава трех металлов отделили два образца, масса каждого из которых составляла 0,01 % от массы всего сплава. Один образец растворили в избытке соляной кислоты, другой обработали избытком раствора щелочи. В первом случае выделилось 1,568 л газа, а во втором - 1,344 л газа (н.у.). Определите массу сплава и массовые доли металлов в полученном сплаве.
556. Железную пластинку массой 100 г выдержали некоторое время в 500 г раствора нитрата серебра с массовой долей соли 10,2 % . Затем пластинку вынули и взвесили, ее масса стала 113,4 г. После этого ее погрузили в 500 г раствора нитрата меди с массовой долей соли 18,8 % . Через некоторое время ее вынули из раствора, масса пластинки стала 116,6 г. Оба оставшиеся раствора слили. Определите массовые доли веществ в полученном растворе. Учтите, что ионы меди окисляют железо до степени окисления +2, а ионы серебра до +3.
557. Образец сплава меди с серебром растворили в 64 мл раствора азотной кислоты с массовой долей кислоты 15 % и плотностью 1,083 г/мл, в результате чего выделилось 784 мл газа с плотностью 1,339 г/л (н.у.). В полученный раствор опустили цинковую пластинку массой 10 г. После окончания всех химических реакций масса пластинки увеличилась на 3,368 г, а масса раствора уменьшилась на ту же массу. Определите массовые доли металлов в исходном сплаве.
558. При растворении образца феррохрома, содержащего по массе 39,25 % железа в 131,9 мл раствора серной кислоты с массовой долей кислоты 0,4 и плотностью 1,3 г/мл выделилось 11,76 л (н.у.) водорода. В полученный раствор насыпали 24 г магниевого порошка. Через некоторое время раствор отфильтровали, и масса порошка составила 27,58 г. Определите массовые доли веществ в полученном растворе.
559. При растворении сплава серебра с медью в 133,3 мл раствора азотной кислоты с массовой долей кислоты 9% и плотностью 1,05 г/мл выделилось 1,008 л газа (н.у.). В полученный раствор насыпали 15 г цинковых опилок. После окончания всех химических реакций масса твердых веществ увеличилась на 2,8325 г, а масса раствора уменьшилась на ту же массу. Определите массовые доли металлов в твердом остатке в конце эксперимента.
560. Амальгаму серебра (сплава с ртутью) растворили в 56,5 мл раствора азотной кислоты с массовой долей кислоты 20 % и плотностью 1,115 г/мл, в результате чего массовая доля кислоты уменьшилась до 7,064 % , и выделилось 0,672 л газа. Полу-

ченный раствор поместили в медный сосуд массой 150 г. Через некоторое время раствор слили и сосуд взвесили, его масса оказалась равной 154,455 г. Определите массовые доли веществ в конечном растворе.

561. Некоторое количество серебра растворили в 115,5 мл раствора азотной кислоты с массовой долей кислоты 50 % и плотностью 1,3091 г/мл в результате чего выделилось 6,72 л смеси газов. Полученный раствор поместили в толстостенный медный сосуд массой 500 г, выдерживали до окончания химических реакций и раствор вылили. После этого масса сосуда стала равной 520,8 г. Определите массу растворенного серебра и состав смеси газов, выделившейся при растворении серебра.
562. В 930 мл раствора хлорида ртути (II) с массовой долей соли 5 % и плотностью 1,053 г/мл пропустили 2,688 л сероводорода (н.у.). Затем туда же насыпали 54 г алюминиевых опилок. Через некоторое время раствор отфильтровали и осадок взвесили, его масса оказалась равной 110,16 г. Определите его состав в массовых долях, а также объем газа, выделившегося в результате химических реакций.
563. 0,672 л сероводорода (н.у.) пропустили в 232,5 мл раствора хлорида ртути (II) с массовой долей соли 5 % и плотностью 1,053 г/мл. Затем туда же насыпали 13,5 г алюминиевых опилок. Через некоторое время раствор отфильтровали и осадок взвесили, его масса оказалась равной 27,54 г. Определите его состав в массовых долях, а также объем газа, выделившегося в результате химических реакций.
564. При растворении 12,7 г сплава алюминия с натрием в 155 мл раствора хлорида ртути (II) с массовой долей соли 5 % и плотностью 1,053 г/мл выделилось 11,648 л газа (н.у.). Определите массовые доли металлов в сплаве, количественный состав выпавшего осадка и массовые доли веществ в оставшемся растворе, учитывая, что ртуть восстановилась полностью и что количества натрия и алюминия в исходном сплаве не различаются более, чем в два раза.
565. 25,4 г сплава алюминия с натрием растворили в 310 мл раствора хлорида ртути (II) с массовой долей соли 5 % и плотностью 1,053 г/мл, в результате чего выделилось 23,3 л газа (н.у.). Определите массовые доли металлов в сплаве, количественный состав выпавшего осадка и массовые доли веществ в оставшемся растворе, учитывая, что ртуть восстановилась полностью, и количества алюминия и натрия в исходном сплаве различаются не более чем в два раза.

### 3.9. Электролиз

566. Раствор, полученный нейтрализацией 380 мл раствора серной кислоты с массовой долей кислоты 5 % и плотностью 1,032 г/мл раствором гидроксида натрия с массовой долей щелочи 5 %, подвергли электролизу. Через некоторое время оставшийся раствор охладили до 10°C, при этом из него выпало 32,2 г десятиводного кристаллогидрата сульфата натрия. Определите объемы газов, выделившихся при электролизе, если известно, что коэффициент растворимости безводного сульфата натрия при 10°C составляет 37 г/л.
567. 26,7 мл раствора ортофосфорной кислоты с массовой долей кислоты 13,45 % и плотностью 1,092 г/мл смешали с 48 мл раствора гидроксида натрия с массовой долей щелочи 8 % и плотностью 1,042 г/мл. Через полученный раствор в течение некоторого времени пропускали электрический ток, а затем его охладили до 10°C. При этом выпало 3,8 г двенадцативодного кристаллогидрата фосфата натрия. Определите массовые доли веществ в оставшемся растворе и объемы газов, выделившихся на электродах, если коэффициент растворимости безводного фосфата натрия при 10°C равен 34 г/л.

568. В результате электролиза 150 г раствора хлорида натрия с массовой долей соли 7,8 % на электродах выделилось 11,2 л газов (н.у.) и образовался раствор с плотностью 1,1 г/мл. Какой максимальный объем (н.у.) оксида углерода (IV) прореагирует с 10 мл полученного раствора?
569. В результате электролиза 120 г раствора, содержащего смесь хлоридов железа (II) и железа (III), масса катода увеличилась на 16,8 г, а на аноде выделилось 11,2 л газов с плотностью 2,647 г/л (н.у.). Определите массовые доли веществ в исходном растворе, если известно, что после окончания процесса в электролизере осталась чистая вода.
570. Через 214 г раствора, содержащего сульфат хрома (II) и сульфат хрома (III) пропускали электрический ток, в результате чего в электролизере осталось 170,2 мл раствора серной кислоты с молярной концентрацией 1,763 моль/л и плотностью 1,1 г/мл, а на электродах выделилось 20,16 л газов (н.у.), смесь которых имеет плотность по азоту, равную 0,5476. Определите массовые доли веществ в растворе до электролиза.
571. Раствор, содержащий сульфат кобальта (II) и сульфат кобальта (III), массой 250 г в течение некоторого времени подвергали электролизу, после чего в электролизере осталось 185,2 мл раствора серной кислоты с молярной концентрацией 3,186 моль/л и плотностью 1,18 г/мл, а на электродах выделилось 7,28 л газов (н.у.), смесь которых имеет плотность по азоту, равную 0,4835. Определите массовые доли веществ в растворе до электролиза.
572. Раствор массой 200 г, содержащий сульфат кобальта (II) и сульфат кобальта (III), в течение некоторого времени подвергали электролизу, после чего в электролизере осталось 148,16 мл раствора серной кислоты с молярной концентрацией 3,037 моль/л и плотностью 1,18 г/мл, а на электродах выделилось 7,527 л газов (н.у.), смесь которых имеет плотность по воздуху, равную 0,4668. Определите массовые доли веществ в растворе до электролиза.
573. 150 мл раствора сульфата меди в течение некоторого времени подвергали электролизу. К оставшемуся раствору добавили 590 мл раствора фосфата натрия с массовой долей соли 8 % и плотностью 1,05 г/мл, при этом выпало 7,64 г осадка и осталось 750 г раствора, в котором массовая доля фосфата натрия составила 1,31 %. Определите молярную концентрацию сульфата меди в растворе до электролиза.
574. Через 306 г раствора нитрата серебра в течение некоторого времени пропускали постоянный электрический ток. Затем к полученному раствору добавили 390 мл раствора фосфата калия с массовой долей соли 15 % и плотностью 1,087 г/мл, в результате чего выпало 41,9 г осадка и осталось 667 мл раствора, в котором концентрация фосфата калия составила 0,075 моль/л. Определите массовые доли веществ в конечном растворе.
575. 200 мл раствора нитрата меди в течение некоторого времени подвергали электролизу. К оставшемуся раствору добавили 738 мл раствора фосфата натрия с массовой долей соли 12 % и плотностью 1,111 г/мл, при этом выпало 19,1 г осадка и осталось 960 г раствора в котором массовая доля фосфата натрия составила 1,708 %. Определите молярную концентрацию сульфата меди в растворе до электролиза и массовые доли веществ в конечном растворе.
576. Раствор нитрата меди с молярной концентрацией соли 1,75 моль/л в течение некоторого времени подвергали электролизу. К оставшемуся раствору добавили 963,6 мл раствора фосфата калия с массовой долей соли 12 % и плотностью 1,1 г/мл, при этом выпало 19,1 г осадка и осталось 1050 г раствора, в котором массовая

доля фосфата калия составила 2,019 %. Определите объем раствора нитрата меди до электролиза и массовые доли веществ в конечном растворе.

577. В результате электролиза 315 мл раствора хлорида бария с массовой долей соли 0,09 и плотностью 1,1 г/мл на электродах выделилось 67,2 л газов (н.у.). К оставшемуся раствору добавили 500 мл раствора гидрокарбоната натрия с массовой долей соли 8 % и плотностью 1,05 г/мл. Выпавший осадок отделили. Определите массовые доли веществ в конечном растворе.
578. При пропускании постоянного электрического тока через 105 г раствора хлорида кальция с молярной концентрацией соли 0,75 моль/л и плотностью 1,05 г/мл на электродах выделилось 10,08 л газов (н.у.). К оставшемуся раствору добавили 84 г раствора гидрокарбоната натрия с массовой долей соли 5 %. Определите массу выпавшего при этом осадки и массовые доли веществ в конечном растворе.
579. 100 мл раствора с плотностью 1,05 г/мл с концентрациями хлорида натрия 0,5 моль/л и фосфорной кислоты 0,3 моль/л подвергли электролизу, в результате чего масса раствора уменьшилась на 10 %. Рассчитайте массовые доли веществ, содержащихся в растворе после электролиза.
580. 75 мл раствора с плотностью 1,1 г/мл, содержащего хлорид натрия с концентрацией 2,667 моль/л и гидрокарбонат натрия с концентрацией 2 моль/л, подвергли электролизу, в результате чего масса раствора уменьшилась на 3,65 г. Определите массовые доли веществ в растворе, оставшемся после электролиза
581. 150 г раствора, содержащего хлорид калия с массовой долей 4,97 и гидрокарбонат калия с массовой долей 16,67 % подвергли электролизу, в результате чего на электродах выделилось 35,84 л газов (н.у.) и остался раствор с плотностью 1,167 г/мл. Определите концентрации веществ в растворе после электролиза.
582. Через 100 г раствора, содержащего хлорид калия (массовая доля 2,235 %) и нитрат ртути (массовая доля 9,75 %) пропускали электрический ток. Электролиз прекратили, когда масса раствора уменьшилась на 5,165 %. Определите массовые доли веществ в конечном растворе и количества веществ, выделившихся на электродах.
583. В результате электролиза 50 г раствора, содержащего хлорид калия с массовой долей 14,9 % и нитрат меди с массовой долей 7,52 % на электродах выделилось 5,824 л газов (н.у.). Определите состав оставшегося раствора в массовых долях.
584. 200 г раствора, содержащего сульфат меди с массовой долей 8 % и хлорид натрия с массовой долей 11,7 %, подвергли электролизу. Определите массовые доли веществ в растворе после электролиза, если известно, что масса раствора уменьшилась на 17,15 г.
585. Через 178,6 мл раствора плотностью 1,12 г/мл, содержащего по массе 14,9 % хлорида калия и 8,125 % нитрата ртути, пропустили электрический ток, в результате чего масса раствора уменьшилась до 179,1 г. Определите массовые доли в оставшемся растворе и количества веществ, выделившихся на электродах.
586. 224 г раствора с плотностью 1,12 г/мл, содержащего хлорид натрия, серную кислоту (концентрация 0,5 моль/л) и сульфат меди (концентрация 0,3 моль/л), подвергали электролизу до тех пор, пока в растворе не осталось одно вещество с массовой долей 15,29 %. Определите массовую долю хлорида натрия в исходном растворе и количества веществ, выделившихся на электродах, если известно, что конечный раствор не изменяет окраски индикатора.
587. 173,9 мл раствора с плотностью 1,15 г/мл, содержащего нитрат ртути (II) с концентрацией 0,23 моль/л, сульфат меди с концентрацией соли 0,575 моль/л и хлорид натрия с концентрацией соли 2,875 моль/л, в течение некоторого времени подвер-

- гали электролизу. В результате этого на электродах выделилось 26,88 л газов (н.у.). Определите массовые доли веществ в растворе после электролиза и количества веществ, выделившихся на электродах.
588. Через 173,9 мл раствора с плотностью 1,15 г/мл, содержащего нитрат ртути (II) с массовой долей 6,5 %, сульфат меди с массовой долей 8 % и хлорид натрия с массовой долей 14,63 %, пропустили постоянный электрический ток. В результате этого на электродах выделилось 26,88 л газов (н.у.). Определите массовые доли веществ в растворе после электролиза и количества веществ, выделившихся на электродах.
589. В 30 мл раствора с плотностью 1,2 г/мл, содержащего (по массе) 18,75 % хлорида меди (II) и 13,33 % сульфата меди (II) погрузили железную пластинку и выдерживали в нем до тех пор, пока ее масса не увеличилась на 0,4 г. Через полученный раствор пропускали постоянный электрический ток, после отключения которого масса катода увеличилась на 4,16 г, а на аноде выделилось 1,456 л газов (н.у.). Определите массовые доли веществ в растворе, оставшемся в электролизере.
590. Железную пластинку погрузили в 60 мл раствора с плотностью 1,2 г/мл, содержащего хлорид меди (II) (массовая доля 18,75 %) и сульфат меди (II) (массовая доля 13,33 %) и выдерживали в нем до тех пор, пока ее масса не увеличилась на 0,8 г. Через полученный раствор пропускали постоянный электрический ток, после отключения которого, масса катода увеличилась на 8,32 г, а на аноде выделилось 2,912 л газов (н.у.). Определите массовые доли веществ в растворе, оставшемся в электролизере.
591. Два электролизера, один из которых содержал раствор сульфата меди, а другой - раствор равной массы хлорида натрия с такой же массовой долей соли, соединили последовательно и пропускали постоянный электрический ток до того момента, когда массы растворов в двух электролизерах опять не сравнялись. Определите, как соотносятся между собой объемы газов, выделившихся в каждом из электролизеров.
592. В один из двух последовательно соединенных электролизеров поместили 150 г раствора сульфида калия с массовой долей соли 25,7 %, а в другой 149 г раствора нитрата ртути (II) с массовой долей соли 4,36 %. Электролиз продолжали до тех пор, пока массы растворов не стали одинаковыми, после этого растворы смешали. Определите молярные концентрации веществ в конечном растворе, если известно, что его плотность равна 1,1 г/мл.
593. Два электролизера, в один из которых поместили 150 г раствора сульфида калия с массовой долей соли 25,7 %, а в другой такую же массу раствора нитрата ртути (II) с массовой долей соли 4,34 %, соединили последовательно. Электролиз продолжали до тех пор, пока массы растворов вновь не стали одинаковыми. Определите массы и массовые доли веществ в растворах после электролиза.
594. В один из двух последовательно соединенных электролизеров поместили 200 г раствора бромида бария с массовой долей соли 14,85 %, а в другой 195 г раствора нитрата хрома (II) неизвестной концентрации. Через некоторое время после начала электролиза массы растворов сравнялись и при дальнейшем пропускании тока оставались одинаковыми. Определите количества веществ, выделившихся на электродах и массовые доли веществ в обоих электролизерах к моменту выравнивания масс растворов. Выделением водорода на катоде при электролизе нитрата хрома и взаимодействием продуктов электролиза между собой пренебречь.
595. Два последовательно соединенных электролизера содержали по 120 г растворов нитрата хрома (II) и хлорида бария. В начальный период электролиза масса про-

дуктов, выделившихся на электродах, в одном электролизере была больше, чем в другом, а через некоторое время массы растворов в электролизерах сравнялись и продолжали оставаться одинаковыми. Определите количества веществ, выделившихся на электродах и массовые доли веществ в оставшихся растворах в обоих электролизерах к моменту выравнивания их масс, если известно, что массовая доля хлорида бария в исходном растворе составляла 17,33 %. Выделением  $H_2$  из раствора, содержащего ионы металла, стоящего в ряду активности правее Al, пренебречь.

596. Через два электролизера, один из которых содержал 98,81 мл раствора иодида калия с массовой долей соли 8 % и плотностью 1,05 г/мл, а другой 100 г раствора нитрата меди неизвестной концентрации, пропускали постоянный электрический ток. Через некоторое время массы растворов сравнялись и при дальнейшем пропускании тока оставались одинаковыми. Определите количества веществ, выделившихся на электродах и массовые доли веществ в обоих электролизерах к моменту выравнивания масс растворов. Взаимодействием продуктов электролиза между собой пренебречь.
597. Два электролизера, один из которых содержал раствор нитрата серебра с массовой долей соли 4,25 %, а другой раствор хлорида бария такой же массы, соединили последовательно и пропускали постоянный электрический ток до того момента, когда массы растворов опять сравнялись. Определите массовую долю хлорида бария в исходном растворе, если известно, что при дальнейшем пропускании тока массы растворов в электролизерах оставались равными между собой.

## Ответы

1.  $\nu(\bar{e}) = 14,8$  моль;  $N(p) = 8,914 \cdot 10^{24}$ .
2.  $\nu(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0,3$  моль,  $m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 31,8$  г;  $\nu(\text{H}_2\text{O}) = 3$  моль,  $m(\text{H}_2\text{O}) = 54$  г.
3.  $m(\text{H}) = 2$  г.
4.  $M(\text{B}) = 32$  г/моль.
5.  $m(\text{H}_2\text{CO}_3) = 6,2$  г.
6.  $N(\text{C}) = 1,807 \cdot 10^{22}$  атомов.
7.  $\nu(\text{O}_3) = 0,03$  моль.
8. 4 атома ( $\text{P}_4$ ).
9.  $\omega(\text{Fe}) = 70$  %.
10. Элемент — Cr.
11.  $[\text{Ba}_3(\text{PO}_4)_2]$ .
12.  $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ .
13.  $\omega(\text{K}) = 49,7$  %.
14.  $\nu(\text{Al}_2\text{O}_3) = 0,24$  моль,  $m(\text{Al}_2\text{O}_3) = 24,48$  г;  $\nu(\text{SiO}_2) = 0,32$  моль,  $m(\text{SiO}_2) = 19,2$  г.
15.  $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ .
16.  $\text{AlBr}_3 + 3 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Al}(\text{OH})_3 \downarrow + 3 \text{HBr} \uparrow$ .
17.  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ .
18.  $\text{C}_8\text{H}_{10}$  (этилбензол и три ксилола).
19.  $\text{C}_3\text{H}_7\text{O}_2\text{N}$  (аланин).
20.  $m[\text{Cu}_3(\text{PO}_4)_2] \downarrow = 31$  г;  $m(\text{CaCl}_2) = 33,3$  г и  $m(\text{NaCl}) = 35,1$  г.
21.  $m(\text{H}_3\text{PO}_4) = 39,2$  г.
22.  $m(\text{N}_2) = 56$  кг,  $m(\text{H}_2) = 12$  кг и  $m(\text{O}_2) = 172,5$  кг.
23.  $V(\text{CH}_4) = 70$  л.
24.  $M[\text{Cu}(\text{NO}_3)_2] = 37,6$  г.
25.  $(\text{CuOH})_2\text{CO}_3$ .
26.  $m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 240$  г.
27.  $\text{NO}_2$ .
28.  $\text{P}_4$ .
29.  $D_{\text{H}_2} = 19,6$ .
30.  $V(\text{O}_2) : V(\text{CH}_4) = 1 : 3$ .
31.  $V(\text{N}_2) : V(\text{H}_2) = 1,579 : 1$ .
32.  $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ .
33.  $\varphi(\text{NO}_2) = 36,5$  %,  $\varphi(\text{NO}) = 63,5$  %
34.  $\varphi(\text{CH}_4) = 0,5$ ;  $\varphi(\text{O}_2) = 0,333$ ;  $\varphi(\text{C}_2\text{H}_4) = 0,167$ .
35.  $M_{\text{ср.}} = 41,33$  г/моль
36.  $\omega(\text{AgNO}_3) = 47,49$  %;  $\omega[\text{Cu}(\text{NO}_3)_2] = 52,51$  %.
37.  $\omega(\text{CaO}) = 18,92$  %;  $\omega(\text{CuO}) = 81,08$  %.
38.  $m(\text{смеси}) = 44,05$  г.
39.  $\text{Fe}(\text{NO}_2)_2$ .
40.  $\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2$ .
41.  $\text{C}_2\text{H}_5\text{COONH}_4$ .
42.  $\text{C}_3\text{H}_7\text{CH}(\text{NH}_2)\text{COOH}$  (валин).
43.  $\varphi(\text{NO}) = 50$  %;  $\varphi(\text{NO}_2) = 50$  %.
44.  $D_{\text{H}_2} = 7,7$ .
45.  $\varphi(\text{O}_2) = 37,5$  %,  $\varphi(\text{CO}_2) = 50$  %,  $\varphi(\text{N}_2) = 12,5$  %.
46.  $\varphi(\text{O}_2) = 40$  %,  $\varphi(\text{N}_2) = 60$  %.
47.  $\varphi(\text{C}_2\text{H}_6) = 25$  %;  $\varphi(\text{H}_2) = 75$  %.
48. Исходная смесь:  $\varphi(\text{C}_4\text{H}_{10}) = 10,71$  %,  $\varphi(\text{O}_2) = 89,29$  %; конечная смесь:  $\varphi(\text{CO}_2) = 68,57$  %,  $\varphi(\text{O}_2) = 31,43$  %.
49.  $V(\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_2) = 0,896$  л,  $V(\text{O}_2)_{\text{исх}} = 4,48$  л;  $V(\text{CO}_2) = 1,792$  л,  $V(\text{N}_2) = 0,448$  л,  $V(\text{O}_2)_{\text{кон}} = 1,12$  л.
50.  $\varphi(\text{O}_3) = 7,41$  %.  $\varphi(\text{O}_2) = 62,96$  %.  $\varphi(\text{N}_2) = 29,63$ .
51.  $\varphi(\text{CH}_4) = 30$  %,  $\varphi(\text{CH}_3\text{NH}_2) = 50$  %,  $\varphi(\text{N}_2) = 20$  %.
52.  $\varphi(\text{CH}_4) = 14,29$  %,  $\varphi(\text{H}_2) = 71,43$  %,  $\varphi(\text{C}_2\text{H}_6) = 14,29$  %.
53.  $C(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 0,614$  моль/л.

54.  $m(\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}) = 450 \text{ г}$ ,  $m(\text{H}_2\text{O}) = 1750 \text{ г}$ .
55.  $V(\text{раствора}) = 209,5 \text{ мл}$ .
56.  $m(\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}) = 122,8 \text{ г}$ ,  
 $m(\text{исходного раствора}) = 439,7 \text{ г}$ .
57.  $V(\text{раствора с } \omega 20 \%) = 734,2 \text{ мл}$ ,  
 $V(\text{раствора с } \omega 50 \%) = 274,8 \text{ мл}$ .
58.  $V(\text{раствора с } \omega 15 \%) = 49,71 \text{ мл}$ ,  
 $V(\text{раствора с } \omega 45 \%) = 29,68 \text{ мл}$ .
59.  $V(\text{раствора HNO}_3) = 3,515 \text{ м}^2$ .
60.  $m(\text{P}_2\text{O}_5) = 102,24 \text{ г}$ .
61.  $V(\text{SO}_2) = 14,19 \text{ л}$ .
62.  $m(\text{P}_2\text{O}_5) = 220,2 \text{ г}$ .
63.  $m[\text{Ba}_3(\text{PO}_4)_2] = 9,02 \text{ г}$ ,  $\omega(\text{NaCl}) = 5,46 \%$ ,  $\omega(\text{Na}_3\text{PO}_4) = 1,7 \%$ .
64.  $m[\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2] = 9,42 \text{ г}$ ,  $\omega(\text{NH}_4\text{NO}_3) = 6,54 \%$ ,  $\omega[(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4] = 1,02 \%$ .
65.  $m[\text{Al}(\text{OH})_3] = 6,24 \text{ г}$ ,  $\omega(\text{NaCl}) = 7,2 \%$ ,  $\omega\{\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]\} = 1,61 \%$ .
66.  $m[\text{Hg}_3(\text{PO}_4)_2] = 7,13 \text{ г}$ ,  $\omega(\text{KNO}_3) = 11,4 \%$ ,  $\omega(\text{K}_3\text{PO}_4) = 0,89 \%$ .
67.  $m[\text{Cr}_2(\text{SiO}_3)_3] = 16,6 \text{ г}$ ,  $\omega(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 4,39 \%$ ,  $\omega[\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3] = 4,04 \%$ .
68.  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ .
69.  $\text{NaAlO}_2$ .
70.  $\text{CH}_3\text{—C}_6\text{H}_4\text{—OH}$ .
71.  $S(\text{NaHCO}_3) = 96,4 \text{ г/л}$ ,  $\omega(\text{NaHCO}_3) = 8,79 \%$ .
72.  $m(\text{осадка}) = 17,2 \text{ г}$ ,  $\omega(\text{CuSO}_4) = 8,41 \%$ .
73. В осадок выпало  $24,33 \text{ г Ba}(\text{NO}_3)_2$ .
74.  $V(\text{раствора}) = 1465 \text{ мл}$ .
75.  $m(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}) = 863,1 \text{ г}$ .
76.  $m(\text{раствора Na}_2\text{SO}_4) : m(\text{раствора KCl}) = 5,72 : 1$ .
77.  $C(\text{Ba}^{2+}) = 0,298 \text{ моль/л}$ ,  $C(\text{NO}_3^-) = 2,847 \text{ моль/л}$ ,  $C(\text{Na}^+) = 3,457 \text{ моль/л}$ ,  
 $C(\text{Cl}^-) = 1,206 \text{ моль/л}$ .
78.  $S(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 944,3 \text{ г/л}$ .  $C(\text{Na}^+) = 3,966 \text{ моль/л}$ .
79.  $C(\text{частиц}) = 0,0408 \text{ моль/л}$ ,  $N(\text{частиц}) = 1,229 \cdot 10^{22}$ .
80.  $S(\text{SO}_2) = 41,66 \text{ л/л}$ .
81.  $\alpha = 10 \%$ .
82.  $Q = 9,24 \text{ кДж}$ .
83.  $Q = 18,62 \text{ кДж}$ .
84.  $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_5$ .
85.  $\text{H}_2\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2$ .
86. Выход  $20 \%$ , 3-метилгексанол-3.
87.  $\omega(\text{S}) = 50,8 \%$ ,  $\omega(\text{P}) = 49,2 \%$ .
88.  $\omega(\text{H}_2\text{S}) = 57,14 \%$ ,  $\omega(\text{O}_2) = 42,86 \%$ .
89.  $Q = - 15,8 \text{ кДж}$ .
90.  $Q = - 44,1 \text{ кДж}$ .
91.  $Q = - 281,54 \text{ кДж}$ .
92.  $\nu = 0,0025 \text{ моль/л.мин}$ ;  $C(\text{CH}_3\text{OH}) = 0,95 \text{ моль/л}$ ,  $C(\text{CH}_3\text{COOH}) = 0,05 \text{ моль/л}$ .
93.  $C(\text{NaOH}) = 0,8 \text{ моль/л}$ .
94.  $m(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 147,2 \text{ г}$ .
95.  $\nu = 0,432 \text{ моль/л.мин}$ .
96.  $m(\text{C}_{17}\text{H}_{33}\text{COOH}) = 564 \text{ г}$ .
97.  $\varphi(\text{H}_2)_{\text{исх.}} = 50 \%$ ,  $\varphi(\text{N}_2)_{\text{исх.}} = 50 \%$ ;  
 $\varphi(\text{H}_2)_{\text{равн.}} = 30 \%$ ,  $\varphi(\text{N}_2)_{\text{равн.}} = 50 \%$ ,  
 $\varphi(\text{NH}_3)_{\text{равн.}} = 20 \%$ .
98.  $\varphi(\text{SO}_3) = 50 \%$ ,  $\varphi(\text{SO}_2) = 25 \%$ ,  $\varphi(\text{O}_2) = 25 \%$ .
99.  $m(\text{SO}_3) = 60 \text{ г}$ ;  $C(\text{N}_2) = 0,0446 \text{ моль/л}$ ,  
 $C(\text{SO}_3) = C(\text{O}_2) = 0,05 \text{ моль/л}$ ,  $C(\text{SO}_2) = 0,1 \text{ моль/л}$ .
100.  $\omega(\text{NO}) = 41,67 \%$ ,  $\omega(\text{NO}_2) = 21,3 \%$ ,  
 $\omega(\text{O}_2) = 37,04 \%$ .
101.  $\omega(\text{CH}_3\text{COOH}) = 7,35 \%$ ,  $\omega(\text{CH}_3\text{OH}) = 58,82 \%$ ,  $\omega(\text{CH}_3\text{COOCH}_3) = 27,21 \%$ .
102.  $\omega(\text{HCOONa}) = 89,24 \%$ ,  
 $\omega(\text{CH}_3\text{COONa}) = 10,76 \%$ ;  $\text{HCOOH}$  в 10 раз сильнее  $\text{CH}_3\text{COOH}$ .

103.  $C(\text{NO}_2) = 0,25$  моль/л,  $C(\text{NO}) = 0,25$  моль/л,  $C(\text{O}_2) = 0,375$  моль/л.
104.  $k = 0,104$ ;  $C(\text{HCl}) = 0,8$  моль/л,  $C(\text{O}_2) = 0,7$  моль/л.
105.  $V(\text{H}_2\text{O}) = 1031$  л
106.  $\omega(\text{MgSO}_4) = 8,074$  %.
107.  $V(\text{SO}_2) = 2,352$  л;  $\omega(\text{ZnSO}_4) = 2,34$  %,  $\omega[\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3] = 0,78$  %,  $\omega(\text{H}_2\text{SO}_4) = 91,15$  %.
108.  $C[\text{Fe}(\text{NO}_3)_2] = 0,2$  моль/л,  $\omega[\text{Fe}(\text{NO}_3)_2] = 3,27$  %;  $C[\text{Fe}(\text{NO}_3)_3] = 0,1$  моль/л,  $\omega[\text{Fe}(\text{NO}_3)_2] = 2,2$  %.
109.  $\omega[\text{Cu}(\text{NO}_3)_2] = 11,28$  %,  $\omega[\text{AgNO}_3] = 17$  %.
110.  $C(\text{ZnSO}_4) = C(\text{FeSO}_4) = 0,552$  моль/л.
111.  $\omega[\text{Fe}(\text{NO}_3)_2] = 3,82$  %,  $\omega[\text{Fe}(\text{NO}_3)_3] = 10,26$  %,  $\omega[\text{Cu}(\text{NO}_3)_2] = 11,96$  %.
112.  $\text{H}_2$  57,51 %.
113.  $\omega(\text{AlCl}_3) = 2,2$  %.  $m(\text{Hg}) = 3,015$  г,  $m(\text{H}_2) = 0,27$  г,  $m[\text{Al}(\text{OH})_3] = 7,02$  г.
114.  $\nu(\text{Hg}) = 0,05$  моль,  $\nu(\text{O}_2) = 0,025$  моль;  $\omega(\text{HNO}_3) = 26,3$  %,  $\omega[\text{Hg}(\text{NO}_3)_2] = 13,59$  %.
115.  $\omega(\text{CuSO}_4) = 16$  %.
116.  $\omega(\text{H}_2\text{SO}_4) = 5,3$  %.
117.  $\omega(\text{NaOH}) = 3,64$  %.
118.  $\omega(\text{H}_2\text{SO}_4) = 4,39$  %,  $\omega(\text{CoSO}_4) = 3,47$  %.
119.  $C(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,463$  моль/л,  $C(\text{NiSO}_4) = 0,695$  моль/л.
120.  $\omega(\text{H}_2\text{SO}_4) = 7,37$  %,  $\omega(\text{ZnSO}_4) = 6,06$  %.
121.  $\nu(\text{Hg}) = 0,02$  моль,  $\nu(\text{Cl}_2) = 0,015$  моль.  $\nu(\text{O}_2) = 0,0025$  моль;  $\omega(\text{HNO}_3) = 0,664$  %,  $\omega(\text{KNO}_3) = 3,2$  %,  $\omega[\text{Hg}(\text{NO}_3)_2] = 3,43$  %.
122.  $\omega(\text{KNO}_3) = 9,41$  %,  $\omega(\text{KOH}) = 7,82$  %.
123.  $\omega(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 7,77$  %,  $\omega(\text{NaOH}) = 2,18$  %,  $\omega(\text{NaCl}) = 3,2$  %.
124.  $\omega(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 7,77$  %,  $\omega(\text{NaOH}) = 2,19$  %,  $\omega(\text{NaCl}) = 3,2$  %.
125.  $\omega(\text{KNO}_3) = 5,64$  %,  $\omega(\text{KOH}) = 6,25$  %,  $\omega(\text{KCl}) = 4,16$  %.
126.  $V(\text{CO}_2) = 0,354$  л.
127.  $m(\text{Hg}) = 3,015$  г,  $m(\text{Cu}) = 1,28$  г,  $m(\text{Cl}_2) = 2,485$  г;  $\omega(\text{CuCl}_2) = 7,61$  %,  $\omega(\text{NaNO}_3) = 6,39$  %.
128.  $\omega(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 7,65$  %,  $\omega(\text{NaHCO}_3) = 3,03$  %.
129.  $m(\text{раствора}) = 99,1$  г.
130.  $t = 147$  сек.
131.  $\omega(\text{Na}_2\text{SO}_4) = \omega(\text{Na}_2\text{HPO}_4) = 8,75$  %,  $\omega(\text{Na}_3\text{PO}_4) = 10,11$  %.
132.  $\omega(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 88,83$  %,  $\omega(\text{NaOH}) = 11,17$  %.
133.  $\omega(\text{HNO}_3) = 43,39$  %,  $\omega(\text{NH}_4\text{NO}_3) = 33,06$  %.
134.  $\varphi(\text{Ar}) = 51,02$  %,  $\varphi(\text{N}_2) = 16,33$  %,  $\varphi(\text{NO}) = 32,65$  %;  $\omega[\text{Cu}(\text{NO}_3)_2] = 40,17$  %,  $\omega(\text{CuCl}_2) = 9,01$  %.
135.  $m(\text{N}_2) = 7$  г,  $m(\text{NO}) = 0,9$  г,  $m(\text{H}_2\text{O}) = 9,72$  г,  $m[\text{Fe}(\text{NO}_3)_3] = 12,1$  г,  $m(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 3,2$  г.
136.  $\omega(\text{K}_2\text{HPO}_4) = 14,4$  %,  $\omega(\text{KH}_2\text{PO}_4) = 16,88$  %.
137.  $\omega(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 10,7$  %,  $\omega(\text{Na}_3\text{PO}_4) = 12,36$  %,  $\omega(\text{Na}_2\text{HPO}_4) = 5,35$  %.
138.  $\omega(\text{NaBr}) = 8,47$  %,  $\omega(\text{NaHCO}_3) = 2,3$  %.
139. 3,454 объема  $\text{HCl}$ .
140.  $\omega[(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4] = 3,46$  %,  $\omega[(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4] = 7,82$  %.
141.  $\omega[(\text{CH}_3\text{NH}_3)_2\text{HPO}_4] = 14,41$  %,  $\omega[(\text{CH}_3\text{NH}_3)\text{H}_2\text{PO}_4] = 29,62$  %.
142.  $m(\text{примесей}) = 3,6$  г.
143.  $V[(\text{CH}_3)_2\text{NH}] = 2,24$  л.

144.  $\omega(\text{NaBr}) = 8,49\%$ ,  $\omega(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 8,74\%$ ,  $\omega(\text{NaHCO}_3) = 13,85\%$ .
145.  $\omega(\text{NaBr}) = 8\%$ ,  $\omega(\text{NaHS}) = 13,06\%$ ,  $\omega(\text{Na}_2\text{S}) = 3,03\%$ .
146.  $m(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = 85,8\text{ г}$ ,  $\omega(\text{NaCl}) = 16,53\%$ ,  $\omega(\text{NaHCO}_3) = 4,75\%$ .
147.  $\omega(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 8,09\%$ ,  $\omega(\text{NaHCO}_3) = 4,79\%$ .
148.  $C(\text{K}_2\text{CO}_3) = 1,72\text{ моль/л}$ ;  $C(\text{HCl}) = 3\text{ моль/л}$ .  $\omega(\text{KCl}) = 6\%$ .  $\omega(\text{K}_2\text{CO}_3) = 9,21\%$ .
149.  $\omega(\text{KHS}) = 7,02\%$ ;  $\omega(\text{KCl}) = 7,27\%$ ;  $\omega(\text{K}_2\text{S}) = 5,37\%$ .
150.  $\omega(\text{NaCl}) = 8,41\%$ ;  $\omega(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 7,6\%$ .
151.  $\omega(\text{HCOONa}) = 6,42\%$ ;  $\omega[(\text{HCOO})_2\text{Pb}] = 23,4\%$ .
152.  $\omega(\text{Fe}) = 61,6\%$ ;  $\omega(\text{Al}) = 10,8\%$ ;  $\omega(\text{Cu}) = 27,6\%$ .
153.  $\omega(\text{Fe}_3\text{O}_4) = 72,05\%$ ;  $\omega(\text{Al}) = 27,95\%$ .
154.  $\omega(\text{C}_2\text{H}_5\text{COOC}_2\text{H}_5) = 42,98\%$ ;  $\omega(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 35,53\%$ ;  $\omega(\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}) = 10,39\%$ ;  $\omega(\text{H}_2\text{SO}_4) = 3,44\%$ ;  $\omega(\text{H}_2\text{O}) = 7,65\%$ .
155.  $V(\text{N}_2) = 0,672\text{ л}$ ;  $V(\text{CH}_4) = 2,688\text{ л}$ .
156.  $v(\text{пальмитиновой}) : v(\text{олеиновой}) = 1 : 1,5$ ;  $m(\text{жира}) = 213,2\text{ г}$ .
157.  $m(\text{SO}_2) = 100\text{ г}$ ,  $\omega(\text{SO}_2) = 30\%$ .
158.  $\omega[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4] = 7,69\%$ ;  $\omega(\text{KCl}) = 10,68\%$ ;  $\omega(\text{HCl}) = 0,54\%$ .
159.  $\omega(\text{Na}_2\text{HPO}_4) = 12,43\%$ ;  $\omega(\text{Na}_3\text{PO}_4) = 14,36\%$ .
160.  $m(\text{C}_6\text{H}_6) = 48,75\text{ г}$ ;  $m(\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2) = 37,2\text{ г}$ .
161.  $m(\text{NaNO}_3) = 8,5\text{ г}$ ,  $m(\text{HNO}_3) = 3,15\text{ г}$ ,  $m\{\text{Hg}(\text{NO}_3)_2\} = 8,125\text{ г}$ .
162.  $V(\text{O}_2) = 33,6\text{ л}$ .  $\varphi(\text{CO}_2) = 34,8\%$ ,  $\varphi(\text{O}_2) = 39,1\%$ ,  $\varphi(\text{O}_3) = 8,7\%$ ,  $\varphi(\text{N}_2) = 17,4\%$ .
163.  $\omega(\text{H}_2\text{S}) = 60\%$ ;  $\omega(\text{PH}_3) = 40\%$ .
164.  $\omega(\text{H}_2\text{SO}_4) = 91,13\%$ ;  $\omega(\text{NaOH}) = 37,27\%$ .
165.  $\text{BF}_3$  и  $\text{SiF}_4$ .
166.  $v(\text{CaCO}_3) = 0,1\text{ моль}\%$ ;  $v[\text{Hg}(\text{NO}_3)_2] = 0,2\text{ моль}$ .  $\omega(\text{HNO}_3) = 48,84\%$ .
167.  $\omega(\text{NaCl}) = 22,66\%$ ;  $\omega\{\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]\} = 3,81\%$ .
168.  $\varphi(\text{NH}_3) = 57,14\%$ ;  $\varphi(\text{N}_2) = 14,29\%$ ;  $\varphi(\text{H}_2) = 28,57\%$ .
169.  $\omega(\text{Al}) = 40,12\%$ ;  $\omega(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 23,77\%$ ;  $\omega(\text{ZnO}) = 36,11\%$ .
170.  $V(\text{Ar}) = 1,68\text{ л}$ ;  $V(\text{CH}_4) = 6,72\text{ л}$ .
171.  $\omega(\text{CH}_3\text{OH}) = 51,61\%$ ;  $\omega(\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}) = 48,69\%$ .
172.  $V(\text{N}_2) = 20\text{ мл}$ ;  $V(\text{CH}_3\text{NH}_2) = 40\text{ мл}$ ;  $V(\text{C}_2\text{H}_6) = 40\text{ мл}$ .
173.  $\omega(\text{C}_2\text{H}_2) = 46,43\%$ ;  $\omega(\text{C}_3\text{H}_6) = 18,75\%$ ;  $\omega(\text{C}_6\text{H}_6) = 34,82\%$ .
174.  $\text{C}_3\text{H}_4$ .
175.  $\omega(\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}=\text{CH}_2) = 42,32\%$ ;  $\omega(\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}) = 19,26\%$ ;  $\omega(\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2) = 38,11\%$ .
176.  $\text{HOOCCH}_2\text{COOH}$ .
177.  $\text{AsH}_3$ ;  $\text{H}_2\text{S}$ .
178.  $m(\text{CH}_3\text{NH}_2) = 1,55\text{ г}$ .  $\omega(\text{NaOH в исходном растворе}) = 7,71\%$ .
179.  $D_{\text{H}_2} = 12,6$ .
180.  $\omega(\text{HCl}) = 29,92\%$ .
181.  $\eta(\text{C}_3\text{H}_6) = 50\%$ ;  $\eta(\text{C}_3\text{H}_7\text{OC}_3\text{H}_7) = 30\%$ .
182.  $\omega(\text{AgNO}_3) = 66,93\%$ ;  $\omega(\text{MgCO}_3) = 33,07\%$ .
183.  $\omega(\text{NO}) = 29,03\%$ ;  $\omega(\text{NO}_2) = 29,68\%$ ;  $\omega(\text{O}_2) = 41,29\%$ .
184.  $\omega(\text{C}_6\text{H}_5\text{C}_2\text{H}_5) = 40\%$ .
185.  $N(\text{тимина}) : N(\text{аденина}) = 0,7 : 1$ .
186.  $\text{BF}_3$ .

187.  $V(\text{CO}_2) = 4,48$  л;  $V(\text{NO}_2) = 8,96$  л;  
 $V(\text{O}_2) = 2,24$  л. смесь:  $V(\text{CO}_2) = 4,48$  л;  $V(\text{N}_2) = 1,12$  л;  $V(\text{O}_2) = 2,8$  л.
188.  $\text{Me} — \text{In}$ .  $C(\text{HNO}_3) = 0,407$  моль/л;  
 $C(\text{NH}_4\text{NO}_3) = 0,0814$  моль/л;  
 $C[\text{In}(\text{NO}_3)_3] = 0,217$  моль/л.
189.  $\omega(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 8,09$  %;  $\omega(\text{NaHCO}_3) = 4,79$  %.
190.  $\omega(\text{FeCO}_3) = 26,67$  %;  $\omega(\text{NaNO}_3) = 77,33$  %.
191.  $\omega(\text{NaNO}_3) = 17,71$  %;  $\omega[\text{Pb}(\text{NO}_3)_2] = 68,96$  %;  $\omega(\text{Cu}) = 13,33$  %.
192.  $\omega(\text{KOH}) = 25,12$  %;  $\omega(\text{KHCO}_3) = 74,88$  %.
193.  $C(\text{KCl}) = 0,214$  моль/л;  $C(\text{HCl}) = 0,0216$  моль/л;  $C(\text{MgBr}_2) = 0,349$  моль/л;  $C(\text{CaI}_2) = 0,209$  моль/л.
194.  $\text{C}_3\text{H}_7\text{O}_2\text{N}$  (аланин или нитропропан).
195.  $\text{C}_3\text{H}_{10}\text{O}_4\text{N}_2$  ( $\text{NH}_4\text{OOCCH}_2\text{COONH}_4$ ).
196.  $\text{K}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$ .
197.  $\text{NH}_4\text{Al}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$ .
198.  $\text{KAuO}_2 \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$ .
199.  $\rho = 1,329$  г/л.
200. Выход 67,2 %;  $V(\text{смеси}) = 301,6$  л.
201.  $V(\text{CH}_4) = 26,88$  л.
202.  $m(\text{C}) = 0,6$  г.
203.  $\eta = 57,14$  %.
204. Исходная смесь:  $V[(\text{CH}_3)_3\text{N}] = 0,896$  л;  $V(\text{O}_2) = 5,824$  л. Конечная смесь:  $V(\text{CO}_2) = 2,688$  л;  $V(\text{N}_2) = 0,448$  л;  $V(\text{O}_2) = 1,12$  л.
205. Исходная смесь:  $V[(\text{CH}_3)_3\text{N}] = 35,84$  л;  $V(\text{O}_2) = 26,88$  л. Конечная смесь:  $V(\text{CO}_2) = 10,752$  л;  $V(\text{N}_2) = 1,792$  л;  $V(\text{O}_2) = 8,064$  л.
206. Исходная смесь:  $V[(\text{CH}_3)_3\text{N}] = 2,24$  л;  $V(\text{O}_2) = 13,6$  л. Конечная смесь:  $V(\text{CO}_2) = 6,72$  л;  $V(\text{N}_2) = 1,12$  л;  $V(\text{O}_2) = 1,84$  л.
207. Исходная смесь:  $V[(\text{CH}_3)_2\text{NH}] = 2,24$  л;  $V(\text{O}_2) = 11,2$  л. Конечная смесь:  $V(\text{CO}_2) = 4,48$  л;  $V(\text{N}_2) = 1,12$  л;  $V(\text{O}_2) = 2,8$  л.
208.  $V(\text{O}_2) = 6,72$  л.
209.  $m(\text{CH}_3\text{NH}_2) = 3,875$  г;  $\varphi(\text{O}_3) = 8,53$  %.
210.  $V(\text{O}_2) = 22,4$  л.  $\varphi(\text{O}_3) = 38,1$  %.
211.  $V(\text{O}_2) = 33,6$  л.  $\varphi(\text{O}_3) = 8,33$  %;  $\varphi(\text{N}_2) = 17,36$  %;  $\varphi(\text{O}_2) = 39,6$  %;  $\varphi(\text{CO}_2) = 34,7$  %.
212.  $\omega(\text{HNO}_3) = 66,72$  %;  $\omega(\text{NO}) = 7,48$  %;  $\omega(\text{H}_2\text{O}) = 25,79$  %.
213.  $\omega(\text{HNO}_3) = 48,46$  %;  $\omega(\text{NH}_4\text{NO}_3) = 30,77$  %.
214.  $\varphi(\text{N}_2) = 30$  %;  $\varphi(\text{H}_2) = 20$  %;  $\varphi(\text{CH}_4) = 50$  %.
215.  $V(\text{CH}_4) = 20$  мл,  $V(\text{CH}_3\text{NH}_2) = 40$  мл и  $V(\text{N}_2) = 40$  мл.
216.  $\varphi(\text{N}_2) = 40$  %;  $\varphi(\text{C}_2\text{H}_6) = 6,67$  %;  $\varphi(\text{CH}_3\text{NH}_2) = 53,34$  %.  $\omega(\text{N}_2) = 37$  %;  $\omega(\text{C}_2\text{H}_6) = 6,61$  %;  $\omega(\text{CH}_3\text{NH}_2) = 56,39$  %.
217.  $\varphi(\text{N}_2) = 50$  %;  $\varphi(\text{C}_2\text{H}_6) = 16,67$  %;  $\varphi(\text{CH}_3\text{NH}_2) = 33,34$  %.  $\omega(\text{N}_2) = 47,19$  %;  $\omega(\text{C}_2\text{H}_6) = 16,86$  %;  $\omega(\text{CH}_3\text{NH}_2) = 39,96$  %.
218. Исходная смесь:  $\varphi(\text{C}_2\text{H}_4) = 77,77$  %;  $\varphi(\text{H}_2) = 22,23$  %. Конечная смесь:  $\varphi(\text{C}_2\text{H}_6) = 83,33$  %;  $\varphi(\text{H}_2) = 16,67$  %.
219.  $\varphi(\text{C}_4\text{H}_{10}) = 56,25$  %;  $\varphi(\text{C}_3\text{H}_6) = 18,75$  %;  $\varphi(\text{C}_4\text{H}_8) = 25$  %.
220.  $\omega(\text{C}_3\text{H}_8) = 25,58$  %;  $\omega(\text{CH}_3\text{NH}_2) = 74,42$  %.
221.  $\omega(\text{C}_2\text{H}_2) = 54,17$  %;  $\omega(\text{H}_2) = 12,5$  %;  $\omega(\text{CH}_4) = 33,33$  %.
222.  $\varphi(\text{C}_2\text{H}_6) = 50$  %;  $\varphi(\text{H}_2) = 50$  %.
223.  $\varphi(\text{H}_2) = 50$  %;  $\varphi(\text{CO}) = 38$  %;  $\varphi(\text{C}_2\text{H}_4) = 12$  %.
224.  $\omega(\text{C}_2\text{H}_6) = 20,55$  %;  $\omega(\text{C}_3\text{H}_6) = 38,36$  %;  $\omega(\text{HCOH}) = 41,1$  %.
225.  $C(\text{C}_2\text{H}_6) = 0,0103$  моль/л;  $C(\text{C}_3\text{H}_6) = 0,0137$  моль/л;  $C(\text{HCOH}) = 0,0206$  моль/л.

226.  $\varphi(\text{CH}_4) = 20\%$ ;  $\varphi(\text{C}_2\text{H}_2) = 10\%$ ;  
 $\varphi(\text{H}_2\text{CO}) = 15\%$ ;  $\varphi(\text{H}_2) = 55\%$ .
227.  $m(\text{S}) = 12,8 \text{ г}$ ;  $m(\text{SO}_2) = 76,8 \text{ г}$ ;  
 $m(\text{H}_2\text{O}) = 14,4 \text{ г}$ .
228.  $m(\text{S}) = 8 \text{ г}$ ;  $m(\text{SO}_2) = 16 \text{ г}$ ;  $m(\text{H}_2\text{O}) = 9 \text{ г}$ .
229.  $m(\text{S}) = 7,5 \text{ г}$ ;  $m(\text{SO}_2) = 15 \text{ г}$ ;  $m(\text{H}_2\text{O}) = 9 \text{ г}$ .
230.  $\omega(\text{C}_2\text{H}_4) = 32,48\%$ ;  $\omega(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 16,01\%$ ;  
 $\omega(\text{C}_2\text{H}_5\text{OC}_2\text{H}_5) = 51,51\%$ .
231.  $m(\text{C}_3\text{H}_6) = 8,4 \text{ г}$ ;  $m(\text{н-C}_3\text{H}_7\text{OH}) = 1,2 \text{ г}$ ;  
 $m(\text{C}_3\text{H}_7\text{OC}_3\text{H}_7) = 12,24 \text{ г}$ .
232.  $m(\text{C}_3\text{H}_6) = 12,6 \text{ г}$ ;  $m(\text{н-C}_3\text{H}_7\text{OH}) = 1,8 \text{ г}$ ;  
 $m(\text{C}_3\text{H}_7\text{OC}_3\text{H}_7) = 9,18 \text{ г}$ .
233.  $C(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,841 \text{ моль/л}$  %;  
 $C(\text{FeSO}_4) = 1,262 \text{ моль/л}$ .  $\omega(\text{H}_2\text{SO}_4) = 6,81\%$ ;  
 $\omega(\text{FeSO}_4) = 15,84\%$ .
234.  $m(\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{ H}_2\text{O}) = 18,75 \text{ г}$ .  
 $m(\text{CuSO}_4) = 15,14\%$ ;  $\omega(\text{H}_2\text{SO}_4) = 61,83\%$ .
235.  $\omega(\text{HNO}_3) = 6,15\%$ ;  $\omega[\text{Cu}(\text{NO}_3)_2] = 38,52\%$ .
236.  $m(\text{Cu}) = 19,2 \text{ г}$ .  $\omega(\text{HNO}_3) = 13,34\%$ ;  
 $\omega[\text{Cu}(\text{NO}_3)_2] = 32,19\%$ .
237.  $\omega(\text{HNO}_3) = 50\%$ ;  $\omega[\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3 \text{ H}_2\text{O}] = 71,04\%$ ;  
 $\omega[\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6 \text{ H}_2\text{O}] = 28,96\%$ .
238.  $\omega(\text{HNO}_3) = 50\%$ ;  $\omega[\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3 \text{ H}_2\text{O}] = 25,95\%$ ;  
 $\omega[\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6 \text{ H}_2\text{O}] = 74,05\%$ .
239.  $m(\text{Ag}) = 64,8 \text{ г}$ ;  $\omega(\text{HNO}_3) = 11,32\%$ ;  
 $\omega(\text{AgNO}_3) = 48,52\%$ .
240.  $m(\text{Ag}) = 54 \text{ г}$ ;  $\omega(\text{HNO}_3) = 20,7\%$ ;  
 $\omega(\text{AgNO}_3) = 36,98\%$ .
241.  $m(\text{Ag}) = 37,8 \text{ г}$ ;  $V(\text{NO}_2) = 2,8 \text{ л}$ ;  
 $V(\text{NO}) = 1,68 \text{ л}$ .
242.  $V(\text{раствора KOH}) = 52,3 \text{ мл}$ .
243.  $C\{\text{Ca}(\text{NO}_3)_2\} = 0,125 \text{ моль/л}$ ;  
 $C(\text{NH}_4\text{NO}_3) = 0,0312 \text{ моль/л}$ ;  
 $C(\text{HNO}_3) = 0,469 \text{ моль/л}$ .  
 $C\{\text{Mg}(\text{NO}_3)_2\} = 0,213 \text{ моль/л}$ ;  
 $C(\text{NH}_4\text{NO}_3) = 0,0521 \text{ моль/л}$ ;  
 $C\{\text{Zn}(\text{NO}_3)_2\} = 0,0769 \text{ моль/л}$ ;  
 $C(\text{NH}_4\text{NO}_3) = 0,0192 \text{ моль/л}$ ;  
 $C(\text{HNO}_3) = 0,589 \text{ моль/л}$ .
244.  $C\{\text{Ca}(\text{NO}_3)_2\} = 0,33 \text{ моль/л}$ ;  
 $C(\text{NH}_4\text{NO}_3) = 0,0825 \text{ моль/л}$ ;  
 $C(\text{HNO}_3) = 0,060 \text{ моль/л}$ .  
 $C\{\text{Mg}(\text{NO}_3)_2\} = 0,396 \text{ моль/л}$ ;  
 $C(\text{NH}_4\text{NO}_3) = 0,099 \text{ моль/л}$ .  
 $C\{\text{Zn}(\text{NO}_3)_2\} = 0,203 \text{ моль/л}$ ;  
 $C(\text{NH}_4\text{NO}_3) = 0,0508 \text{ моль/л}$ ;  
 $C(\text{HNO}_3) = 0,482 \text{ моль/л}$ .
245.  $m(\text{SO}_3) = 37 \text{ г}$ ;  $\omega(\text{SO}_3) = 31,4\%$ .
246.  $V(\text{раствора H}_2\text{SO}_4) = 2865 \text{ л}$ .
247.  $\omega(\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4) = 25,5\%$ ;  
 $\omega[(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4] = 29,27\%$ .
248.  $\omega[(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4] = 13,85\%$ ;  
 $\omega[(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4] = 7,82\%$ .
249.  $\omega(\text{KH}_2\text{PO}_4) = 42,18\%$ ;  $\omega(\text{H}_3\text{PO}_4) = 3,96\%$ .
250.  $m(\text{остатка}) = 18,6 \text{ г}$ .
251.  $\omega(\text{CuCO}_3) = 38,24\%$ ;  $\omega(\text{PbCO}_3) = 61,76\%$ .
252.  $\omega(\text{Li}_2\text{CO}_3) = 9,85\%$ ;  $\omega(\text{LiHCO}_3) = 18,1\%$ ;  
 $\omega(\text{CH}_3\text{OH}) = 52,6\%$ .
253.  $m(\text{CaO}) = 33,6 \text{ г}$ ;  $\omega[\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2] = 4,32\%$ .
254.  $m(\text{FeS}_2) = 12 \text{ г}$ .
255.  $m(\text{Fe}) = 0,224 \text{ г}$ ;  $\omega(\text{KHSO}_3) = 8,81\%$ ;  
 $\omega(\text{K}_2\text{SO}_3) = 11,6\%$ .
256.  $V(\text{газовой смеси}) = 12,5 \text{ л}$ .
257.  $\omega(\text{H}_2\text{SO}_4) = 50,02\%$ ;  $\omega(\text{HNO}_3) = 39,96\%$ ;  
 $\omega(\text{H}_2\text{O}) = 10,02\%$ .
258.  $m(\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2) = 74,4 \text{ г}$ ;  $\eta(\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2) = 62,4\%$ .
259.  $\eta(\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{NO}_2) = 57,14\%$ ;  
 $\eta[\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_3(\text{NO}_2)_2] = 42,86\%$ .
260.  $m(\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3) = 46 \text{ г}$ .
261.  $m\{\text{C}_6\text{H}_7\text{O}_2(\text{OH})(\text{ONO}_2)_2\}_n = 25,2 \text{ г}$ .  
 $m\{\text{C}_6\text{H}_7\text{O}_2(\text{ONO}_2)_3\}_n = 59,4 \text{ г}$ .
262.  $m\{\text{C}_6\text{H}_7\text{O}_2(\text{OH})(\text{ONO}_2)_2\}_n = 50,4 \text{ г}$ .  
 $m\{\text{C}_6\text{H}_7\text{O}_2(\text{ONO}_2)_3\}_n = 118,8 \text{ г}$ .

263.  $\omega(\text{NaCl}) = 5,55 \%$ ;  
 $\omega(\text{H}_2\text{NCH}_2\text{COONa}) = 5,29 \%$ ;  
 $\omega(\text{H}_2\text{NCH}_2\text{COOH}) = 3,65 \%$ .
264.  $V(\text{NH}_3) = 2,24 \text{ л}$ ;  $\omega(\text{NaCl}) = 13,36 \%$ ;  
 $\omega(\text{H}_2\text{NCH}_2\text{COONa}) = 16,61 \%$ ;  
 $\omega(\text{H}_2\text{NCH}_2\text{COOH}) = 4,28 \%$ .
265.  $V(\text{NH}_3) = 6,944 \text{ л}$ ;  $\omega(\text{NaCl}) = 5,28 \%$ ;  
 $\omega[\text{CH}_3\text{CH}(\text{NH}_2)\text{COONa}] = 6,01 \%$ ;  
 $\omega[\text{CH}_3\text{CH}(\text{NH}_2)\text{COOH}] = 3,21 \%$ .
266.  $\omega(\text{NH}_3) = 6,26 \%$ ;  $\omega(\text{NaCl}) = 4,26 \%$ ;  
 $\omega(\text{H}_2\text{NCH}_2\text{COONa}) = 2,36 \%$ ;  
 $\omega(\text{H}_2\text{NCH}_2\text{COOH}) = 3,64 \%$ .
267.  $\omega(\text{NH}_3) = 17 \%$ ;  $\omega(\text{NaCl}) = 12,9 \%$ ;  
 $\omega(\text{H}_2\text{NCH}_2\text{COONa}) = 21,3 \%$ ;  
 $\omega(\text{NaOH}) = 2,93 \%$ .
268.  $m(\text{ClCH}_2\text{COOH}) = 56,7 \text{ г}$ .  $\omega(\text{KCl}) = 16,4 \%$ ;  
 $\omega(\text{H}_2\text{NCH}_2\text{COOK}) = 16,6 \%$ ;  
 $\omega(\text{H}_2\text{NCH}_2\text{COOH}) = 5,49 \%$ .
269.  $\omega(\text{KCl}) = 11,95 \%$ ;  $\omega\{\text{K}[\text{Al}(\text{OH})_4]\} = 1,08 \%$ .
270.  $\omega(\text{Na}) = 71,9 \%$ ;  $\omega(\text{Be}) = 28,1 \%$ .
271.  $\omega(\text{Na}_2\text{HPO}_4) = 5,19 \%$ ;  $\omega(\text{NaH}_2\text{PO}_4) = 4,39 \%$ .
272.  $\omega(\text{K}_2\text{HPO}_4) = 5,63 \%$ ;  $\omega(\text{KH}_2\text{PO}_4) = 2,52 \%$ .
273.  $\omega(\text{MgCl}_2) = 4,72 \%$ ;  $\omega(\text{CaCl}_2) = 6,13 \%$ ;  
 $\omega(\text{HCl}) = 1,94 \%$ .
274.  $\varphi(\text{SO}_2) = 24,7 \%$ ;  $\varphi(\text{CO}_2) = 75,3 \%$ .
275.  $\varphi(\text{SO}_2) = 49,8 \%$ ;  $\varphi(\text{CO}_2) = 50,2 \%$ .
276.  $\omega(\text{C}_6\text{H}_6) = 53,06 \%$ ;  $\omega(\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3) = 46,96 \%$ .
277.  $\eta(\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2) = 76,3 \%$ ;  
 $\eta(\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2) = 77,8 \%$ .
278.  $\omega(\text{C}_6\text{H}_5\text{C}_2\text{H}_5) = 33,3 \%$ .
279.  $\omega(\text{C}_6\text{H}_5\text{C}_2\text{H}_5) = 33,3 \%$ .
280.  $\omega(\text{CH}_3\text{CCOOCH}_3) = 62,71 \%$ ;  
 $\omega(\text{C}_2\text{H}_5\text{CCOOCH}_3) = 37,29 \%$ .
281.  $\eta(\text{CH}_3\text{COOCH}_3) = 80 \%$ ;  
 $\eta(\text{C}_2\text{H}_5\text{COOCH}_3) = 50 \%$ .
282.  $\eta(\text{HCOOC}_2\text{H}_5) = 60 \%$ ;  
 $\eta(\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5) = 80 \%$ .
283.  $\omega(\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3) = 2,97 \%$ ;  
 $\omega(\text{C}_{15}\text{H}_{31}\text{COONa}) = 4,48 \%$ ;  
 $\omega(\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COONa}) = 24,7 \%$ ;  $\omega(\text{NaOH}) = 3,3$ .
284.  $\omega(\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3) = 2,97 \%$ ;  
 $\omega(\text{C}_{15}\text{H}_{31}\text{COONa}) = 4,48 \%$ ;  
 $\omega(\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COONa}) = 24,7 \%$ ;  $\omega(\text{NaOH}) = 3,3$ .
285.  $\omega(\text{C}_6\text{H}_2\text{Br}_3\text{ONa}) = 4,38 \%$ ;  $\omega(\text{CH}_2\text{OH-CHOH-COONa}) = 3,87 \%$ ;  
 $\omega[\text{CH}_2\text{OH-C}(\text{CH}_3)\text{OH-COONa}] = 3,19 \%$ ;  
 $\omega(\text{CH}_3\text{OH}) = 0,885 \%$ ;  $\omega(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 0,954 \%$ ;  
 $\omega(\text{NaBr}) = 9,97 \%$ .
286.  $\omega(\text{C}_6\text{H}_2\text{Br}_3\text{ONa}) = 4,38 \%$ ;  $\omega(\text{CH}_2\text{OH-CHOH-COONa}) = 3,87 \%$ ;  
 $\omega[\text{CH}_2\text{OH-C}(\text{CH}_3)\text{OH-COONa}] = 3,19 \%$ ;  
 $\omega(\text{CH}_3\text{OH}) = 0,885 \%$ ;  $\omega(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 0,954 \%$ ;  
 $\omega(\text{NaBr}) = 9,97 \%$ .
287.  $\omega(\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}) = 33,57 \%$ ;  $\omega(\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2) = 66,43 \%$ .
288.  $\omega(\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}) = 31,9 \%$ ;  $\omega(\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2) = 21,04 \%$ ;  
 $\omega(\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}=\text{CH}_2) = 47,27 \%$ .
289.  $\eta(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 44,8 \%$ .
290.  $m(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 14,4 \text{ г}$ .  $\omega(\text{C}_3\text{H}_7\text{COONa}) = 17,6 \%$ ;  
 $\omega(\text{NaHCO}_3) = 4,19 \%$ .
291.  $m(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 54 \text{ г}$ ;  $\omega(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 8,35 \%$ ;  
 $\omega(\text{C}_3\text{H}_7\text{COONa}) = 4,99 \%$ ;  $\omega(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 28,9 \%$ .
292.  $C(\text{PH}_3) = 0,0158 \text{ моль/л}$ ;  $C(\text{H}_2\text{S}) = 0,0289 \text{ моль/л}$ .
293.  $\omega(\text{NaNO}_3) = 8,54 \%$ ;  $\omega(\text{HNO}_3) = 3,16 \%$ ;  
 $\omega(\text{AgNO}_3) = 8,54 \%$ .
294.  $\omega(\text{NaNO}_3) = 3,47 \%$ ;  $\omega(\text{HNO}_3) = 2,57 \%$ ;  
 $\omega(\text{AgNO}_3) = 4,62 \%$ .
295.  $\omega(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 48,4 \%$ ;  $\omega(\text{Na}_2\text{HPO}_4) = 6,87 \%$ ;  
 $\omega(\text{NaH}_2\text{PO}_4) = 5,81 \%$ .
296.  $\omega(\text{CH}_3\text{OH}) = 43,01 \%$ ;  $\omega(\text{Na}_2\text{HPO}_4) = 5,03 \%$ ;  
 $\omega(\text{NaH}_2\text{PO}_4) = 5,81 \%$ .

297.  $m(\text{Li}) = 7 \text{ г}$ .  $\omega(\text{Li}_2\text{SO}_4) = 11,67 \%$ ;  
 $\omega(\text{LiH}_2\text{PO}_4) = 8,66 \%$ ;  $\omega(\text{CH}_3\text{OH}) = 42,43 \%$ .
298.  $\omega(\text{Li}_2\text{SO}_4) = 1,02 \%$ ;  $\omega(\text{LiH}_2\text{PO}_4) = 6,86 \%$ ;  $\omega(\text{CH}_3\text{OH}) = 37,08 \%$ .
299.  $S(\text{CuSO}_4) = 202 \text{ г/л}$ .  $C(\text{Cu}^{2+}) = 1,26 \text{ моль/л}$ .
300.  $m(\text{осадка}) = 67,6 \text{ г}$ .  $\omega(\text{NaH}_2\text{PO}_4) = 6,61 \%$ .
301.  $m(\text{осадка}) = 75,08 \text{ г}$ .  $\omega(\text{NaH}_2\text{PO}_4) = 5,95 \%$ .
302.  $m(\text{осадка}) = 83,73 \text{ г}$ .  $\omega(\text{NaHCO}_3) = 7,79 \%$ ;  $\omega(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 14,29 \%$ .
303.  $V(\text{CO}_2) = 28 \text{ л}$ .
304.  $m(\text{осадка}) = 24,8 \text{ г}$ .  $\omega(\text{NaHCO}_3) = 7,51 \%$ ;  $\omega(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 9,04 \%$ .
305.  $m(\text{осадка}) = 81,5 \text{ г}$ .  $\omega(\text{NaHCO}_3) = 7,7 \%$ ;  $\omega(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 11,23 \%$ .
306.  $m(\text{осадка}) = 72,41 \text{ г}$ ;  $\omega(\text{NaHCO}_3) = 6,99 \%$ ;  $\omega(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 15,4 \%$ .
307.  $m(\text{осадка}) = 107,26 \text{ г}$ .  $\omega(\text{NaHCO}_3) = 8,66 \%$ ;  $\omega(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 3,89 \%$ .
308.  $m(\text{Cu}) = 17,37 \text{ г}$ .  $\omega(\text{H}_2\text{SO}_4) = 76,37 \%$ .
309.  $m(\text{осадка}) = 79,92 \text{ г}$ .  $\omega[\text{Cu}(\text{NO}_3)_2] = 19,3 \%$ ;  $\omega(\text{HNO}_3) = 42,74 \%$ .
310.  $m(\text{Zn}) = 20,2 \text{ г}$ .
311.  $m(\text{KCl}) = 5,56 \text{ г}$ ;  $m(\text{KClO}_3) = 2,9 \text{ г}$ .  
 $C(\text{KCl}) = 3,52 \text{ моль/л}$ ;  $C(\text{KClO}_3) = 0,459 \text{ моль/л}$ ;  $C(\text{KOH}) = 1,69 \text{ моль/л}$ .
312.  $m(\text{осадка}) = 12,53 \text{ г}$ .  $\omega(\text{NaHCO}_3) = 6,78 \%$ ;  $\omega(\text{NH}_4\text{Cl}) = 6,78 \%$ ;  $\omega(\text{NaCl}) = 7,53$ .
313.  $C(\text{NH}_4^+) = 3,7 \text{ моль/л}$ ;  $C(\text{Na}^+) = 2,19 \text{ моль/л}$ ;  $C(\text{HCO}_3^-) = 0,962 \text{ моль/л}$ ;  
 $C(\text{Cl}^-) = 4,93 \text{ моль/л}$ .
314.  $C(\text{NH}_4^+) = 4,5 \text{ моль/л}$ ;  $C(\text{Na}^+) = 0,964 \text{ моль/л}$ ;  $C(\text{HCO}_3^-) = 1,33 \text{ моль/л}$ ;  
 $C(\text{Cl}^-) = 4,14 \text{ моль/л}$ .
315.  $m(\text{осадка}) = 23,94 \text{ г}$ .
316.  $C(\text{Ba}^{2+}) = 0,535 \text{ моль/л}$ .
317.  $m(\text{осадка}) = 11,15 \text{ г}$ .
318.  $C(\text{Li}^+) = 3,642 \text{ моль/л}$ ;  $C(\text{NO}_3^-) = 5,337 \text{ моль/л}$ ;  
 $C(\text{Cu}^{2+}) = 1,524 \text{ моль/л}$ ;  
 $C(\text{SO}_4^{2-}) = 0,677 \text{ моль/л}$ .
319.  $m(\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2) = 2,3 \text{ г}$ ;  $\omega(\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2) = 1,72 \%$ ;  
 $m(\text{NH}_4\text{Cl}) = 45,9 \text{ г}$ ;  $\omega(\text{NH}_4\text{Cl}) = 34,3 \%$ ;  
 $m(\text{NH}_3) = 9,18 \text{ г}$ ;  $\omega(\text{NH}_3) = 6,86 \%$ .
320.  $m[\text{Fe}(\text{OH})_2] = 36 \text{ г}$ ;  $m(\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2) = 7,34 \text{ г}$ ;  
 $m(\text{NH}_4\text{Cl}) = 25 \text{ г}$ .
321.  $m[\text{Fe}(\text{OH})_2] = 54 \text{ г}$ ;  $m(\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2) = 11,58 \text{ г}$ ;  
 $m(\text{NH}_4\text{Cl}) = 32,82 \text{ г}$ .
322.  $m[\text{Fe}(\text{OH})_2] = 36 \text{ г}$ ;  $m(\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2) = 7,39 \text{ г}$ ;  
 $m(\text{NH}_4\text{Cl}) = 26,04 \text{ г}$ .
323.  $\omega(\text{CH}_3\text{COONa}) = 8,15 \%$ ;  $\omega(\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}) = 6,18 \%$ ;  
 $\omega(\text{NaHCO}_3) = 7,42 \%$ .
324.  $\omega(\text{CH}_3\text{COONa}) = 8,15 \%$ ;  $\omega(\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}) = 6,18 \%$ ;  
 $\omega(\text{NaHCO}_3) = 7,43 \%$ .
325.  $\omega(\text{CH}_3\text{COONa}) = 8,15 \%$ ;  $\omega(\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}) = 6,18 \%$ ;  
 $\omega(\text{NaHCO}_3) = 7,43 \%$ .  
 $m(\text{CH}_3\text{COOC}_6\text{H}_5) = 20,4 \text{ г}$ .
326.  $\omega(\text{Na}_2\text{CO}_3 \text{ в исходном растворе}) = 10,8 \%$ .  
 $\omega(\text{NaOH в исходном растворе}) = 2,73 \%$ .
327.  $\omega(\text{K}_2\text{CO}_3 \text{ в исходном растворе}) = 11,5 \%$ .  
 $\omega(\text{KOH в исходном растворе}) = 6,63 \%$ .
328.  $V(\text{газа}) = 26,88 \text{ л}$ . В первом сосуде  $\omega(\text{KBr}) = 13,3 \%$ ;  
 $\omega(\text{KHCO}_3) = 5,59 \%$ . Во втором сосуде  $\omega(\text{KHCO}_3) = 5,98 \%$ ;  
 $\omega(\text{K}_2\text{CO}_3) = 8,25 \%$ .
329.  $V(\text{газа}) = 82,3 \text{ л}$ . В первом сосуде  $\omega(\text{KCl}) = 22,3 \%$ ;  
 $\omega(\text{KHS}) = 5,17 \%$ . Во втором сосуде  $\omega(\text{H}_2\text{SO}_4) = 11,2 \%$ ;  
 $\omega(\text{CuSO}_4) = 6,54 \%$ .
330.  $V(\text{газа}) = 38,08 \text{ л}$ . В первом сосуде  $\omega(\text{KCl}) = 8,73 \%$ ;  
 $\omega(\text{KHS}) = 4,22 \%$ . Во втором сосуде  $\omega(\text{KHS}) = 4,32 \%$ ;  
 $\omega(\text{K}_2\text{S}) = 6,6 \%$ .
331.  $V(\text{газа}) = 61,44 \text{ л}$ . В первом сосуде  $\omega(\text{NaCl}) = 2,14 \%$ ;  
 $\omega(\text{NaHS}) = 2,14$

- % . Во втором сосуде  $\omega(\text{H}_2\text{SO}_4) = 6,53\%$ ;  $\omega(\text{CuSO}_4) = 3,82\%$ .
332.  $V(\text{газа}) = 134,6$  л. В первом сосуде  $\omega(\text{H}_2\text{SO}_4) = 62,5\%$ . Во втором сосуде  $\omega(\text{H}_2\text{SO}_4) = 8,61\%$ ;  $\omega(\text{CuSO}_4) = 3,51\%$ .
333.  $V(\text{газа}) = 159,7$  л. В первом сосуде  $\omega(\text{H}_2\text{SO}_4) = 62,5\%$ . Во втором сосуде  $\omega(\text{H}_2\text{SO}_4) = 8,61\%$ ;  $\omega(\text{CuSO}_4) = 3,51\%$ .
334.  $\omega(\text{NaCl}) = 7,15\%$ ;  $\omega(\text{HCl}) = 0,235\%$ .
335.  $\omega(\text{KNO}_3) = 7,39\%$ ;  $\omega(\text{KOH}) = 1,49\%$ .
336.  $V(\text{раствора NaOH}) = 85,1$  мл. В первом случае  $\omega(\text{NaOH}) = 4,36\%$ . Во втором случае  $\omega(\text{H}_2\text{SO}_4) = 23,2\%$ .
337.  $V(\text{раствора HBr}) = 90,2$  мл. В первом случае  $\omega(\text{KOH}) = 1,6\%$ . Во втором случае  $\omega(\text{HBr}) = 2,93\%$ .
338.  $\omega(\text{HCl}) = 5,24\%$ ;  $\omega(\text{H}_2\text{SO}_4) = 1,76\%$ .
339.  $\omega(\text{NaNO}_3) = 4,46\%$ ;  $\omega(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 0,745\%$ .
340.  $C_1(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 0,774$  моль/л;  $C(\text{Na}_2\text{S}) = 0,294$  моль/л.  $C_2(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 0,775$  моль/л;  $C(\text{CuSO}_4) = 0,19$  моль/л.
341.  $C_1(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 0,388$  моль/л;  $C(\text{CuSO}_4) = 0,275$  моль/л.  $C_2(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 0,387$  моль/л;  $C(\text{Na}_2\text{S}) = 0,568$  моль/л.
342.  $\omega(\text{Na}_2\text{S}) = 32,6\%$ ;  $\omega[\text{Pb}(\text{NO}_3)_2 \text{ в исходном растворе}] = 36,1\%$ ;  $\omega(\text{NaNO}_3) = 13,9\%$ ;  $\omega[\text{Pb}(\text{NO}_3)_2 \text{ в конечном растворе}] = 9,03\%$ .
343.  $\omega(\text{NaNO}_3) = 8,5\%$ ;  $\omega(\text{HNO}_3) = 3,15\%$ ;  $\omega\{\text{Hg}(\text{NO}_3)_2 \text{ в конечном растворе}\} = 8,11\%$ .  $\omega\{\text{Hg}(\text{NO}_3)_2 \text{ в исходном растворе}\} = 32,45\%$ ;  $\omega(\text{Na}_2\text{HPO}_4 \text{ в исходном растворе}) = 35,9\%$ .
344.  $m[\text{раствора Al}_2(\text{SO}_4)_3] = 11,2$  г;  $\omega[\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \text{ в исходном растворе}] = 30,54\%$ .  $m[\text{исходного раствора Ba}(\text{HCO}_3)_2] = 1002$  г;  $\omega[\text{Ba}(\text{HCO}_3)_2 \text{ в исходном растворе}] = 0,99\%$ .
345.  $m(\text{KI}) = 33,2$  г;  $m(\text{NH}_4\text{NO}_3) = 34,7$  г;  $m(\text{NaNO}_3) = 28,8$  г;  $m(\text{Li}_2\text{SO}_4) = 8,92$  г.
346.  $C([\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_3]\text{Cl}) = 1,7$  моль/л;  $C(\text{HCl}) = 0,508$  моль/л;  $C(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 0,814$  моль/л;  $C(\text{KI}) = 0,616$  моль/л.
347.  $m(\text{раствора азотной кислоты}) = 68$  г;  $m(\text{BaI}_2) = 15,3$  г;  $m(\text{CsCl}) = 6,8$  г;  $m[\text{Sr}(\text{OH})_2] = 7,45$  г.
348.  $\omega(\text{NaNO}_3) = 5,61\%$ ;  $\omega(\text{BaCl}_2) = 0,41\%$ ;  $\omega(\text{KCl}) = 2,9\%$ .
349.  $\omega(\text{AgNO}_3) = 29,8\%$ ;  $\omega(\text{CaBr}_2) = 54,5\%$ ;  $\omega(\text{CH}_3\text{COOCs}) = 15,7\%$ ;  $C(\text{CaBr}_2) = 0,182$  моль/л;  $C[\text{Ca}(\text{NO}_3)_2] = 0,0863$  моль/л;  $C(\text{CH}_3\text{COOCs}) = 0,0806$  моль/л.
350.  $\omega(\text{NaHS}) = 6,97\%$ ;  $\omega(\text{NaCl}) = 7,28\%$ ;  $\omega(\text{Na}_2\text{S}) = 4,85\%$ .
351.  $\omega(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0,711\%$ ;  $\omega(\text{NaOH}) = 0,805\%$ .
352. I сосуд:  $\omega(\text{NaHCO}_3) = 2,03\%$ ;  $\omega(\text{NaCl}) = 7,51\%$ . II сосуд:  $\omega(\text{RbCl}) = 10,4\%$ ;  $\omega(\text{HCl}) = 1,48\%$ . III сосуд:  $\omega(\text{KCl}) = 9,57\%$ .
353. I раствор:  $\omega(\text{BeCl}_2) = 5,8\%$ . II раствор:  $\omega(\text{MgCl}_2) = 6,81\%$ ; III раствор:  $\omega(\text{HCl}) = 6,81\%$ .  $\omega(\text{ZnCl}_2) = 3,61\%$ .
354. I раствор:  $\omega(\text{CsCl}) = 4\%$ ;  $\omega(\text{HCl}) = 0,282\%$ . II раствор:  $\omega(\text{NaCl}) = 1,85\%$ ;  $\omega(\text{NaHCO}_3) = 1,97\%$ . III раствор:  $\omega(\text{RbCl}) = 3,83\%$ .
355. I раствор:  $\omega(\text{LiCl}) = 2,29\%$ ;  $\omega(\text{LiHCO}_3) = 8,62\%$ . II раствор:  $\omega(\text{NaCl}) = 3,15\%$ ; III раствор:  $\omega(\text{RbCl}) = 3,7\%$ ;  $\omega(\text{HCl}) = 8,32\%$ .
356. I раствор:  $\omega(\text{HCOOK}) = 19,4\%$ ;  $\omega(\text{HCOOH}) = 3,25\%$ . II раствор:

- $\omega(\text{CH}_3\text{COOK}) = 22,7 \%$ ; III раствор:  
 $\omega(\text{C}_3\text{H}_7\text{COOK}) = 19,3 \%$ ;  $\omega(\text{KHCO}_3) = 7,12 \%$ .
357. I раствор:  $\omega(\text{LiCl}) = 0,166 \%$ ;  
 $\omega(\text{LiNO}_3) = 5,94 \%$ . II раствор:  
 $\omega[\text{Mg}(\text{NO}_3)_2] = 5,43 \%$ ;  $\omega(\text{AgNO}_3) = 0,952 \%$ ; III раствор:  $\omega[\text{Al}(\text{NO}_3)_3] = 6,17 \%$ .
358. I раствор:  $\omega(\text{LiCl}) = 1,96 \%$ ;  
 $\omega(\text{Li}_2\text{SO}_4) = 0,0886 \%$ . II раствор:  
 $\omega(\text{AlCl}_3) = 2,04 \%$ ; III раствор:  
 $\omega(\text{MgCl}_2) = 2,08 \%$ ;  $\omega(\text{BaCl}_2) = 0,238 \%$ .
359.  $m(\text{NH}_4\text{NO}_3) = 12 \text{ г}$ ;  $m[\text{Cu}(\text{NO}_3)_2] = 18,8 \text{ г}$ .
360.  $V(\text{CO}_2) = 3,36 \text{ л}$ .
361.  $\omega[\text{Cu}(\text{NO}_3)_2] = 36,29 \%$ ;  $\omega(\text{KNO}_3) = 39 \%$ ;  $\omega(\text{Cu}) = 24,7 \%$ .
362.  $\omega(\text{KNO}_2) = 44,35 \%$ ;  $\omega(\text{CuO}) = 55,65 \%$ .
363.  $\omega(\text{O}) = 30,39 \%$ .
364.  $\omega(\text{Al}_2\text{O}_3) = 39,08 \%$ ;  $\omega(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 66,92 \%$ .
365.  $V(\text{раствора}) = 68,68 \text{ мл}$ .
366.  $\omega(\text{Na}_2\text{SiO}_3) = 43,42 \%$ ;  $\omega(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 56,58 \%$ .
367.  $\omega(\text{BaSO}_4) = 55,49 \%$ ;  $\omega(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 12,62 \%$ ;  $\omega(\text{BaO}) = 31,88 \%$ .
368.  $\omega(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 84,13 \%$ ;  $\omega(\text{NaOH}) = 15,87 \%$ .
369.  $\omega(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 46,9 \%$ ;  $\omega(\text{NaOH}) = 53,1 \%$ .
370.  $\omega(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 91,38 \%$ ;  $\omega(\text{NaOH}) = 8,62 \%$ .
371.  $m(\text{Na}_2\text{ZnO}_2) = 14,3 \text{ г}$ ;  $m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 37,1 \text{ г}$ ;  $m(\text{NaOH}) = 12 \text{ г}$ .
372.  $\omega(\text{Na}_2\text{ZnO}_2) = 22,1 \%$ ;  $\omega(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 65,5 \%$ ;  $\omega(\text{NaOH}) = 12,4 \%$ .
373.  $m(\text{K}_2\text{BeO}_2) = 11,9 \text{ г}$ ;  $m(\text{K}_2\text{CO}_3) = 69 \text{ г}$ ;  $m(\text{KOH}) = 16,8 \text{ г}$ .
374. Газовая смесь:  $\varphi(\text{He}) = 58,1 \%$ ;  $\varphi(\text{N}_2) = 14 \%$ ;  $\varphi(\text{NO}) = 27,9 \%$ . Раствор:  
 $\omega(\text{CuCl}_2) = 9,01 \%$ ;  $\omega[\text{Cu}(\text{NO}_3)_2] = 50,2 \%$ .
375. Газовая смесь:  $\varphi(\text{Ar}) = 75 \%$ ;  $\varphi(\text{N}_2) = 8,33 \%$ ;  $\varphi(\text{NO}) = 16,7 \%$ . Раствор:  
 $\omega(\text{CuCl}_2) = 5,66 \%$ ;  $\omega[\text{Cu}(\text{NO}_3)_2] = 55,1 \%$ .
376.  $m(\text{H}_2\text{O}) = 28,8 \text{ г}$ ;  $m(\text{NO}) = 15 \text{ г}$ ;  
 $m(\text{N}_2) = 5,6 \text{ г}$ ;  $m[\text{Cu}(\text{NO}_3)_2] = 103,4 \text{ г}$ ;  
 $m(\text{CuCl}_2) = 27 \text{ г}$ .
377.  $m(\text{H}_2\text{O}) = 28,8 \text{ г}$ ;  $m(\text{NO}) = 16,5 \text{ г}$ ;  
 $m(\text{N}_2) = 5,6 \text{ г}$ ;  $m[\text{Cu}(\text{NO}_3)_2] = 98,7 \text{ г}$ ;  
 $m(\text{CuCl}_2) = 27 \text{ г}$ .
378.  $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ .  $V(\text{газов}) = 2,016 \text{ л}$ .
379.  $\text{ZnS}$ .
380.  $\text{Al}$ .
381.  $\text{Sc}$ .
382.  $\text{Mg}$  или  $\text{Ti}$ .
383. Металл – индий.  $\omega(\text{HNO}_3) = 5 \%$ .
384. Металл – лютеций.  $\omega(\text{HNO}_3) = 5 \%$ .
385. Металл – цинк.  $\omega(\text{NaHCO}_3) = 7,12 \%$ ;  
 $\omega(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 8,98 \%$ ;  $\omega(\text{NaNO}_3) = 7,2 \%$ ;  
 $\omega(\text{NaNO}_2) = 5,85 \%$ .
386.  $\text{Co}_3\text{O}_4$ .
387. Кристаллогидрат -  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ .  
 $m[\text{Fe}(\text{NO}_3)_3] = 33,6 \text{ г}$ ;  $m(\text{H}_2\text{O}) = 27 \text{ г}$ ;  
 $m(\text{NO}) = 2,5 \text{ г}$ ;  $m(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 8,88 \text{ г}$ .
388.  $\text{HIO}_3$ .
389.  $(\text{CuOH})_2\text{CO}_3$ .
390.  $(\text{CuOH})_2\text{CO}_3$ .
391.  $(\text{CuOH})_2\text{CO}_3$ .
392.  $(\text{MgOH})_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ .
393.  $(\text{MgOH})_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ .
394.  $\text{Mg}(\text{ClO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ .
395.  $\text{Mg}(\text{ClO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ .
396.  $\text{Mg}(\text{ClO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ .
397.  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ .
398.  $\text{K}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ .

399.  $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .
400.  $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .
401.  $\text{Na}_3\text{RhCl}_6 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ .
402.  $\text{Na}_3\text{RhCl}_6 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ .
403.  $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ .
404.  $\text{Ca}(\text{MnO}_4)_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ .
405.  $\text{Ca}(\text{MnO}_4)_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ .
406.  $\text{Ca}_3(\text{AsO}_4)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ .
407.  $\text{Na}_2\text{SnO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ .
408.  $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ .
409.  $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ .
410.  $\text{KAuO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ .
411.  $\text{KAuO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ .
412.  $\text{Na}_2\text{CrO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ .
413.  $\text{Ba}(\text{AuO}_2)_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ .
414.  $\text{NaAuCl}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .
415.  $\text{NaAuCl}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .
416.  $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ .
417.  $(\text{NH}_4)_2\text{Co}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ .
418.  $\text{C}_3\text{H}_7\text{O}_2\text{N}$  (аланин или нитропропан).
419.  $\text{C}_7\text{H}_5\text{O}_6\text{N}_3$  (тринитротолуол).
420.  $\text{C}_7\text{H}_5\text{O}_6\text{N}_3$  (тринитротолуол).
421.  $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2\text{NCl}$  (метиламмонийная соль хлорпропионовой кислоты).
422.  $\text{C}_3\text{H}_{10}\text{O}_4\text{N}_2$  ( $\text{NH}_4\text{OOCCH}_2\text{COONH}_4$ ).
423.  $\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_3\text{NCl}$  (гидрохлорид серина).
424.  $\text{C}_3\text{H}_7\text{O}_3\text{N}$  (серин).
425.  $\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_3\text{NCl}$  (гидрохлорид серина).
426.  $\text{C}_9\text{H}_{12}\text{O}_2\text{NCl}$  (гидрохлорид фенилаланина).
427.  $\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}_2\text{NCl}$  (гидрохлорид валина).
428.  $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_4\text{N}_2$  (глицилсерин или серилглицин).
429.  $\text{C}_5\text{H}_5\text{ON}_5$ . (гуанин).
430.  $\text{C}_5\text{H}_5\text{ON}_5$ . (гуанин).
431.  $\text{C}_5\text{H}_6\text{O}_2\text{N}_2$ . (тимин).
432.  $\text{C}_4\text{H}_5\text{ON}_3$ . (цитозин).
433.  $\text{C}_5\text{H}_6\text{O}_2\text{N}_2$ . (тимин).
434. Пентен-1.
435. Гексадиен-1,5.
436. 2,4-диметилпентадиен-1,3 или 2,3-диметилпентадиен-1,3.
437. Бутанол-2, ди(втор.-бутиловый) эфир, бутен-1 и цис-транс-бутены-2.
438. Этанол и бутанол.
439. Этанол и пропанол.
440.  $m(\text{CH}_3\text{OH}) = 9,6 \text{ г}$ ;  $m(\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}) = 12 \text{ г}$ .
441.  $\omega[\text{C}_3\text{H}_6(\text{OH})_2] = 76 \%$ . Пропандиол-1,2 или пропандиол-1,3.
442. Бутандиол-1,2; бутандиол-1,3; бутандиол-1,4; 2-метилпропандиол-1,2 и 2-метилпропандиол-1,2.
443. Бутандиол-1,2; бутандиол-1,3; бутандиол-1,4; 2-метилпропандиол-1,2 и 2-метилпропандиол-1,2.
444.  $\omega(\text{CH}_3\text{OH}) = 34,8 \%$ ;  $m(\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}) = 65,2 \%$ .
445.  $\omega(\text{CH}_3\text{OH}) = 61,5 \%$ ;  $\omega(\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}) = 38,5 \%$ .
446.  $\omega(\text{CH}_3\text{OH}) = 25,81 \%$ ;  $\omega(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 74,19 \%$ .
447.  $\omega(\text{CH}_3\text{OH}) = 44,44 \%$ ;  $\omega(\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}) = 55,56 \%$ .
448.  $\nu(\text{CH}_3\text{OH}) = 0,2 \text{ моль}$ ;  $\nu(\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}) = 0,1 \text{ моль}$ .
449.  $\text{HOOC}(\text{CH}_2)_4\text{COOH}$ .
450.  $\nu(\text{HCOOC}_3\text{H}_7) = 0,624 \text{ моль}$ ;  $\nu(\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5) = 0,1876 \text{ моль}$ .
451.  $\text{HCOOCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$ ;  $\text{HCOOCH}(\text{CH}_3)_2$ ;  $\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5$  и  $\text{C}_2\text{H}_5\text{COOCH}_3$ .
452.  $\nu(\text{HCOOC}_4\text{H}_9) = 0,05 \text{ моль}$ ;  $\nu(\text{CH}_3\text{COOC}_3\text{H}_7) = 0,2 \text{ моль}$ ;  $\nu(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOC}_2\text{H}_5) = 0,1 \text{ моль}$ .

453.  $\nu(\text{HCOOCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3) + \nu[\text{HCOOCH}(\text{CH}_3)_2] = 0,25$  моль;  
 $\nu(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOCH}_3) = 0,3$  моль.
454.  $\nu(\text{HCOOCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3) = 0,1$  моль;  
 $\nu[\text{HCOOCH}(\text{CH}_3)_2] = 0,1$  моль;  
 $\nu(\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5) = 0,2$  моль.
455.  $\nu(\text{HCOOCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3) = 0,1$  моль;  
 $\nu[\text{HCOOCH}(\text{CH}_3)_2] = 0,1$  моль;  
 $\nu(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOCH}_3) = 0,1$  моль.
456. Жир содержит два остатка линолевой кислоты и один остаток олеиновой кислоты, расположенный либо на краю, либо в центре.
457.  $m(\text{жира}) = 219$  г.  $\nu(\text{линоленовой кислоты}) : \nu(\text{олеиновой кислоты}) = 2 : 1$ .
458. Дезоксирибоза.
459. Дезоксицитидиндифосфат.
460. 5 фрагментов.
461. 5 остатков глюкозы.
462. Полипептид содержал 30 аминокислотных остатков.
463. Полипептид содержал 30 аминокислотных остатков.
464. Полипептид содержал 25 аминокислотных остатков.
465. Полипептид содержал 25 аминокислотных остатков.
466. Пептид содержал 2 остатка глицина, 3 остатка серина и 2 остатка глутаминовой кислоты.
467. В состав пептида входило 3 фрагмента глицина и по два фрагмента фенилаланина и глутаминовой кислоты.
468.  $N(\text{тимина}) : N(\text{цитозина}) = 0,7 : 1$ .
469.  $N(\text{аденина}) : N(\text{гуанина}) = 0,7 : 1$ .
470.  $N(\text{цитозина}) : N(\text{аденина}) = 1,22 : 1$ .
471.  $N(\text{тимина}) : N(\text{гуанина}) = 1 : 1,88$ .
472.  $Q(\text{сгорания сахарозы}) = 5670$  кДж/моль.
473.  $m[\text{ди(втор.-бутилового) эфира}] = 15,8$  г/
474.  $\varphi(\text{N}_2) = 80,81\%$ ;  $\varphi(\text{O}_2) = 14,61\%$ ;  $\varphi(\text{O}_3) = 4,58\%$ .
475.  $\varphi(\text{N}_2) = 81,87\%$ ;  $\varphi(\text{O}_2) = 10,88\%$ ;  $\varphi(\text{O}_3) = 7,25\%$ .  $Q(\text{образования озона}) = -145$  кДж/моль.
476.  $\varphi(\text{N}_2) = 66,67\%$ ;  $\varphi(\text{O}_2) = 25\%$ ;  $\varphi(\text{O}_3) = 8,33\%$ .  $Q(\text{образования озона}) = -145$  кДж/моль.
477.  $V(\text{исходной смеси}) = 5,6$  л;  $\varphi(\text{N}_2) = 55,6\%$ ;  $\varphi(\text{O}_2) = 36,3\%$ ;  $\varphi(\text{O}_3) = 8,33\%$ .
478.  $V(\text{исходной смеси}) = 5,6$  л;  $\varphi(\text{N}_2) = 55,6\%$ ;  $\varphi(\text{O}_2) = 36,3\%$ ;  $\varphi(\text{O}_3) = 8,33\%$ .
479.  $V(\text{исходной смеси}) = 8,06$  л;  $\varphi(\text{Ar}) = 47,1\%$ ;  $\varphi(\text{O}_2) = 41,2\%$ ;  $\varphi(\text{O}_3) = 11,8\%$ .
480.  $\omega(\text{NaHCO}_3) = 8,84\%$ ;  $\omega(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 6,69\%$ .
481.  $V(\text{H}_2\text{S}) = 6,72$  л;  $V(\text{O}_2) = 7,84$  л.
482.  $V(\text{H}_2\text{S}) = 11,2$  л;  $V(\text{O}_2) = 10,08$  л.
483.  $Q[\text{сгорания сероводорода до оксида сера (IV)}] = 560$  кДж/моль.
484.  $Q[\text{сгорания сероводорода до оксида сера (IV)}] = 560$  кДж/моль.
485.  $\omega(\text{CH}_3\text{OH}) = 35\%$ ;  $\omega(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 33,6\%$ ;  $\omega(\text{C}_6\text{H}_{14}) = 31,4\%$ .
486.  $V(\text{CO}_2) = 29,12$  л.
487.  $\omega(\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2) = 20,31\%$ ;  $\omega(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 60,26\%$ ;  $\omega[\text{CH}_3\text{CH}(\text{NH}_2)\text{COOH}] = 19,43\%$ .
488.  $m(\text{раствора}) = 45,8$  г.
489.  $V(\text{O}_2) = 11,2$  л;  $V(\text{H}_2\text{S}) = 10,5$  л;  $V(\text{H}_2) = 0,7$  л.
490.  $V(\text{сосуда}) = 22,4$  л;  $m(\text{H}_2\text{O}) = 54$  г;  $m(\text{S}) = 16$  г;  $m(\text{SO}_2) = 64$  г.
491.  $k = 0,00133$  л/моль.мин.

492.  $\nu = 0,025$  моль/л.мин.
493.  $\nu = 0,167$  моль/л.мин.
494.  $t = 6$  мин.
495.  $m(\text{CH}_3\text{COOH}) = 35,46$  г;  $m(\text{CH}_3\text{OH}) = 18,9$  г;  $m(\text{CH}_3\text{COOCH}_3) = 96,9$  г.
496.  $m(\text{CH}_3\text{COOCH}_3$  в исходном растворе) = 148 г;  $m(\text{CH}_3\text{COOCH}_3$  в конечном растворе) = 96,9 г.
497.  $m(\text{CH}_3\text{COOC}_4\text{H}_9) = 1902,4$  г.
498.  $\eta(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 90$  %.
499.  $t = 34,1$  час.
500.  $t = 134,4$  час.
501.  $\eta(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 75$  %.  $m(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 1656$  г.
502.  $m(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 368$  г.  $\eta(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 20$  %.
503.  $t = 1,404$  час.
504.  $t = 4,68$  час.
505.  $\eta(\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2) = 35,6$  %.
506.  $t = 53,2$  час.
507.  $\nu(\text{жирных кислот}) = 0,19$  моль.
508.  $m(\text{C}_{17}\text{H}_{29}\text{COOH}) = 411,6$  г.
509.  $\nu(\text{жирных кислот}) = 0,558$  моль.
510.  $m(\text{C}_{17}\text{H}_{29}\text{COOH}) = 67,36$  г.
511.  $\nu(\text{жирных кислот}) = 0,241$  моль.
512.  $C(\text{O}_2) = 0,0833$  моль/л;  $C(\text{SO}_2) = 0,167$  моль/л;  $C(\text{SO}_3) = 0,148$  моль/л;  $C(\text{N}_2) = 0,0477$  моль/л.
513.  $C(\text{O}_2) = 0,223$  моль/л;  $C(\text{SO}_2) = C(\text{SO}_3) = 0,0893$  моль/л.
514.  $m(\text{S}) = 1,6$  г.  $C(\text{O}_2) = 0,223$  моль/л;  $C(\text{SO}_2) = C(\text{SO}_3) = 0,0893$  моль/л.
515.  $m(\text{SO}_3) = 1,6$  г.  $C(\text{O}_2) = 0,0893$  моль/л;  $C(\text{SO}_2) = C(\text{SO}_3) = 0,179$  моль/л;  $C(\text{N}_2) = 0,0446$  моль/л.
516.  $V(\text{O}_2) = 8,4$  л.
517.  $m(\text{S}) = 38$  г.  $V(\text{O}_2) = 49,98$  л.
518.  $V(\text{O}_2) = 33,6$  л.
519.  $V(\text{O}_2) = 16,8$  л.  $m(\text{ZnS}) = 29,1$  г.
520.  $V(\text{O}_2) = 17,92$  л.  $m(\text{CuFeS}_2) = 36,8$  г.
521.  $\omega(\text{SO}_3) = 44,94$  %.
522.  $C(\text{O}_2) = 0,00797$  моль/л;  $C(\text{SO}_2) = 0,0319$  моль/л.  $\omega(\text{H}_2\text{SO}_4) = 94,23$  %.
523.  $m(\text{FeS}_2) = 18$  г.  $V(\text{исходной газовой смеси}) = 53,2$  л.
524.  $C(\text{SO}_2) = 0,0117$  моль/л;  $C(\text{SO}_3) = 0,0151$  моль/л;  $C(\text{O}_2) = 0,0103$  моль/л.
525.  $\varphi(\text{H}_2) = \varphi(\text{N}_2) = 36,36$  %;  $\varphi(\text{NH}_3) = 27,27$  %.
526.  $\omega(\text{Zn}) = 23,3$  %;  $\omega(\text{NH}_4\text{Cl}) = 76,7$  %.
527.  $\omega(\text{Al}) = 21,4$  %;  $\omega\{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4\} = 78,6$  %;  $\varphi(\text{H}_2) = 75$  %;  $\varphi(\text{NH}_3) = 12,5$  %;  $\varphi(\text{N}_2) = 12,5$  %.
528.  $\varphi(\text{NH}_3) = 15,4$  %;  $\varphi(\text{N}_2) = 46,2$  %;  $\varphi(\text{H}_2) = 38,5$  %.
529.  $C(\text{NH}_3) = 0,0768$  моль/л;  $C(\text{N}_2) = 0,0507$  моль/л;  $C(\text{H}_2) = 0,0921$  моль/л.
530.  $\omega(\text{HNO}_3) = 11,45$  %.  $\varphi(\text{O}_2) = 33,33$  %;  $\varphi(\text{N}_2) = 66,67$  %.
531.  $\varphi(\text{N}_2) = 44,7$  %;  $\varphi(\text{O}_2) = 55,3$  %;  $\omega(\text{HNO}_3) = 54,1$  %.
532.  $m(\text{NO}) = 6$  г;  $m(\text{NO}_2) = 2,3$  г;  $m(\text{O}_2) = 7,2$  г.
533.  $m(\text{NO}) = 3$  г;  $m(\text{NO}_2) = 23$  г;  $m(\text{O}_2) = 6,4$  г.
534.  $\omega(\text{NO}) = 12,56$  %;  $\omega(\text{NO}_2) = 54,94$  %;  $\omega(\text{O}_2) = 39,2$  %.
535.  $\omega(\text{AgNO}_3) = 64,39$  %;  $\omega\{\text{Cu}(\text{NO}_3)_2\} = 35,61$  %.
536.  $\omega(\text{AgNO}_3) = 64,39$  %;  $\omega\{\text{Cu}(\text{NO}_3)_2\} = 35,61$  %.
537.  $\omega(\text{AgNO}_3) = 64,4$  %;  $\omega\{\text{Cu}(\text{NO}_3)_2\} = 35,6$  %;  $\varphi(\text{NO}) = 30,8$  %;  $\varphi(\text{NO}_2) = 30,8$  %;  $\varphi(\text{O}_2) = 38,5$  %.
538.  $C(\text{NO}_2) = 0,0343$  моль/л;  $C(\text{NO}) = 0,0157$  моль/л;  $C(\text{O}_2) = 0,0328$  моль/л.

539.  $C(\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5) = C(\text{H}_2\text{O}) = C(\text{CH}_3\text{COOH}) = 3,488$  моль/л;  
 $C(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 6,976$  %.
540.  $\omega(\text{CH}_3\text{COOH}) = 34,29$  %;  
 $\omega(\text{CH}_3\text{OH}) = 18,29$  %;  
 $\omega(\text{CH}_3\text{COOCH}_3) = 42,29$  %;  $\omega(\text{H}_2\text{O}) = 5,14$  %.
541.  $C(\text{HCOOCH}_3) = 3$  моль/л;  
 $C(\text{HCOOH}) = 2$  моль/л;  $C(\text{CH}_3\text{OH}) = 17$  моль/л.
542.  $\omega(\text{Cl}_3\text{CCOOH}$  в исходном растворе) = 75,4 %;  $\omega(\text{CH}_3\text{OH}$  в исходном растворе) = 24,6 % .  $\omega(\text{Cl}_3\text{CCOOH}$  в конечном растворе) = 25,1 %;  $\omega(\text{CH}_3\text{OH}$  в конечном растворе) = 14,8 %;  $\omega(\text{Cl}_3\text{CCOOSH}_3$  в конечном растворе) = 54,6 % .  $\omega(\text{H}_2\text{O}$  в конечном растворе) = 5,53 %.
543.  $\omega(\text{CF}_3\text{COOH}) = 9,73$  %;  $\omega(\text{CH}_3\text{OH}) = 2,73$  %;  $\omega(\text{CF}_3\text{COOCH}_3) = 5,46$  %;  $\omega(\text{H}_2\text{O}) = 77,9$  % .  $C(\text{CF}_3\text{COOH}) = C(\text{CH}_3\text{OH}) = 0,939$  моль/л;  
 $C(\text{CF}_3\text{COOCH}_3) = 0,469$  моль/л;  
 $C(\text{H}_2\text{O}) = 47,6$  моль/л.
544.  $\omega(\text{HCOOH}) = \omega(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 33,3$  %;  
 $\omega(\text{HCOOC}_2\text{H}_5) = 26,8$  %;  $\omega(\text{H}_2\text{O}) = 6,52$  %.
545.  $C(\text{HCOOCH}_3) = C(\text{H}_2\text{O}) = 0,197$  моль/л;  $C(\text{HCOOH}) = 0,103$  моль/л;  
 $C(\text{CH}_3\text{OH}) = 24,8$  моль/л.
546.  $\varphi(\text{CO}) = 20$  %;  $\varphi(\text{H}_2) = 60$  %;  
 $\varphi(\text{CH}_4) = \varphi(\text{H}_2\text{O}) = 10$  %.
547. Триметиламин в 3 раз более сильное основание, чем аммиак.  
 $\omega(\text{NH}_4\text{Cl}) = 15,74$  %;  
 $\omega\{[(\text{CH}_3)_3\text{NH}]\text{Cl}\} = 84,26$  %.
548. Хлоруксусная кислота в 4 раза сильнее муравьиной.  
 $m(\text{ClCH}_2\text{COOK}) = 3,52$  г;  
 $m(\text{HCOOK}) = 1,36$  г.
549. Метиламин в 5 раз более сильное основание, чем аммиак.  $\omega(\text{Al}(\text{OH})_3) = 28,5$ %;  $\omega([\text{CH}_3\text{NH}_3]\text{Cl}) = 61,8$  %;  $\omega(\text{NH}_4\text{Cl}) = 9,8$  %.
550. Диметиламин в 9 раз более сильное основание, чем аммиак.  $m\{\text{Fe}(\text{OH})_2\} = 22,5$  г;  $m(\text{NH}_4\text{Cl}) = 2,675$  г;  
 $m\{[(\text{CH}_3)_2\text{NH}_2]\text{Cl}\} = 36,675$  г.
551. Уксусная кислота в 3 раза слабее муравьиной.  $\omega(\text{NaCl}) = 55,1$  %;  
 $\omega(\text{HCOONa}) = 32$  %;  $\omega(\text{CH}_3\text{COONa}) = 12,9$  %.
552. Хлоруксусная кислота в 4 раза сильнее муравьиной.  
 $m(\text{ClCH}_2\text{COOK}) = 31,8$  г;  $m(\text{HCOOK}) = 5,04$  г;  $m(\text{KNO}_3) = 35,35$  г.
553.  $\omega(\text{Al}) = 18,88$  %;  $\omega(\text{Fe}_3\text{O}_4) = 91,12$  %.
554.  $\omega(\text{Al}) = 35,06$  %.
555.  $m(\text{сплава}) = 23,45$  кг;  $\omega(\text{Al}) = 34,5$  %;  
 $\omega(\text{Fe}) = 23,9$  %;  $\omega(\text{Zn}) = 41,6$  %.
556.  $\omega[\text{Fe}(\text{NO}_3)_3] = 1,23$  %;  $\omega[\text{Fe}(\text{NO}_3)_2] = 7,32$  %;  $\omega[\text{Cu}(\text{NO}_3)_2] = 1,91$  %;  
 $\omega(\text{AgNO}_3) = 2,59$  %.
557.  $\omega(\text{Cu}) = 36,4$  %;  $\omega(\text{Ag}) = 63,6$  %.
558.  $\omega(\text{MgSO}_4) = 38,6$  %;  $\omega[\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3] = 6,67$  %.
559.  $\omega(\text{Cu}) = 16,2$  %;  $\omega(\text{Ag}) = 27,3$  %;  
 $\omega(\text{Zn}) = 56,6$  %.
560.  $\omega(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2) = 20,9$  %.
561.  $m(\text{Ag}) = 52,92$  г.  $n(\text{NO}_2) = 0,205$  моль;  $n(\text{NO}) = 0,095$  моль.
562.  $V(\text{H}_2) = 15,52$  л;  $\omega(\text{Al}) = 36,7$  %;  
 $\omega(\text{HgS}) = 25,3$  %;  $\omega(\text{Hg}) = 10,9$  %;  
 $\omega(\text{Al}(\text{OH})_3) = 27$  %.
563.  $V(\text{H}_2) = 3,86$  л;  $\omega(\text{Al}) = 36,8$  %;  
 $\omega(\text{HgS}) = 25,4$  %;  $\omega(\text{Hg}) = 11$  %;  
 $\omega(\text{Al}(\text{OH})_3) = 27$  %.
564.  $\omega(\text{Na}) = 36,2$  %;  $\omega(\text{Al}) = 63,8$  %.  
 $n(\text{Hg}) = 0,03$  моль;  $v\{\text{Al}(\text{OH})_3\} = 0,14$  моль.  $\omega(\text{NaCl}) = 2,12$  %;  
 $\omega\{\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]\} = 9,97$  %.
565.  $\omega(\text{Na}) = 36,2$  %;  $\omega(\text{Al}) = 63,8$  %.  
 $v(\text{Hg}) = 0,06$  моль;  $v\{\text{Al}(\text{OH})_3\} = 0,32$  моль.  $\omega(\text{NaCl}) = 2,24$  %;  
 $\omega\{\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]\} = 10,56$  %.

566.  $V(\text{H}_2) = 391$  л;  $V(\text{O}_2) = 175,5$  л.
567.  $V(\text{H}_2) = 391$  л;  $V(\text{O}_2) = 175,5$  л.  
 $\omega(\text{Na}_3\text{PO}_4) = 3,11$  %;  $\omega(\text{Na}_2\text{HPO}_4) = 5,39$  %.
568.  $V(\text{CO}_2) = 0,355$  л.
569.  $\omega(\text{FeCl}_2) = 21,16$  %;  $\omega(\text{FeCl}_3) = 13,54$  %.
570.  $\omega(\text{CrSO}_4) = 10,37$  %;  $\omega\{\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3\} = 9,16$  %.
571.  $\omega(\text{CoSO}_4) = 12,4$  %;  $\omega\{\text{Co}_2(\text{SO}_4)_3\} = 21,1$  %.
572.  $\omega(\text{CoSO}_4) = 11,6$  %;  $\omega\{\text{Co}_2(\text{SO}_4)_3\} = 20,3$  %.
573.  $C(\text{CuSO}_4) = 1,07$  моль/л.
574.  $\omega(\text{K}_3\text{PO}_4) = 1,58$  %;  $\omega(\text{K}_2\text{HPO}_4) = 3,89$  %;  $\omega(\text{KNO}_3) = 6,77$  %.
575.  $C\{\text{Cu}(\text{NO}_3)_2\} = 0,175$  моль/л.  
 $\omega(\text{NaNO}_3) = 6,2$  %;  $\omega(\text{Na}_2\text{HPO}_4) = 5,92$  %.
576.  $V\{\text{раствора Cu}(\text{NO}_3)_2\} = 0,2$  л.  
 $\omega(\text{KNO}_3) = 6,73$  %;  $\omega(\text{K}_2\text{HPO}_4) = 6,63$  %.
577.  $\omega(\text{NaHCO}_3) = 2,11$  %;  $\omega(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 1,99$  %.
578.  $m(\text{CaCO}_3) = 5$  г.  $\omega(\text{NaOH}) = 1,14$  %;  
 $\omega[\text{Ca}(\text{OH})_2] = 1,05$  %.
579.  $\omega(\text{Na}_2\text{HPO}_4) = 3,01$  %;  $\omega(\text{NaH}_2\text{PO}_4) = 1,27$  %.
580.  $\omega(\text{NaHCO}_3) = 5,33$  %;  $\omega(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 13,44$  %;  $\omega(\text{NaCl}) = 7,42$  %.
581.  $C(\text{KHCO}_3) = 1,364$  моль/л;  
 $C(\text{K}_2\text{CO}_3) = 0,909$  моль/л.
582.  $\omega\{\text{Hg}(\text{NO}_3)_2\} = 3,43$  %;  $\omega(\text{KNO}_3) = 3,2$  %;  
 $\omega(\text{HNO}_3) = 0,66$  %.  $\nu(\text{Hg}) = 0,02$  моль;  
 $\nu(\text{Cl}_2) = 0,015$  моль;  $\nu(\text{O}_2) = 0,0025$  моль.
583.  $\omega(\text{KNO}_3) = 10,05$  %;  $\omega(\text{KOH}) = 8,36$  %.
584.  $\omega(\text{NaOH}) = 2,19$  %;  $\omega(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 7,77$  %;  
 $\omega(\text{NaCl}) = 3,2$  %.
585.  $\omega(\text{KNO}_3) = 5,64$  %;  $\omega(\text{KCl}) = 4,16$  %;  
 $\omega(\text{KOH}) = 6,25$  %.
586.  $\omega(\text{NaCl}) = 8,36$  %;  $\nu(\text{Cu}) = 0,06$  моль;  
 $\nu(\text{Cl}_2) = 0,016$  моль;  $\nu(\text{O}_2) = 1,72$  моль.
587.  $\nu(\text{Hg}) = 0,04$  моль;  $\nu(\text{Cu}) = 0,1$  моль;  
 $\nu(\text{Cl}_2) = 0,25$  моль;  $\nu(\text{H}_2) = 0,67$  моль;  
 $\nu(\text{O}_2) = 0,28$  моль.  $\omega(\text{NaNO}_3) = 4,31$  %;  
 $\omega(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 9,01$  %;  $\omega(\text{NaOH}) = 5,58$  %.
588.  $\nu(\text{Hg}) = 0,04$  моль;  $\nu(\text{Cu}) = 0,1$  моль;  
 $\nu(\text{Cl}_2) = 0,25$  моль;  $\nu(\text{H}_2) = 0,67$  моль;  
 $\nu(\text{O}_2) = 0,28$  моль.  $\omega(\text{NaNO}_3) = 4,31$  %;  
 $\omega(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 9,01$  %;  $\omega(\text{NaOH}) = 5,58$  %.
589.  $\omega(\text{H}_2\text{SO}_4) = 7,25$  %;  $\omega(\text{FeSO}_4) = 5,62$  %.
590.  $\omega(\text{H}_2\text{SO}_4) = 7,16$  %;  $\omega(\text{FeSO}_4) = 5,55$  %.
591.  $V(\text{I}) : V(\text{II}) = 1 : 3,26$ .
592.  $C(\text{KNO}_3) = 1,58$  моль/л;  $C(\text{KOH}) = 2,28$  моль/л.
593.  $m(\text{KOH}) = 27,72$  г.  $\omega(\text{KOH}) = 19,6$  %.  
 $m(\text{K}_2\text{S}) = 11,3$  г.  $\omega(\text{K}_2\text{S}) = 7,96$  %.  
 $m(\text{HNO}_3) = 2,52$  г.  $\omega(\text{HNO}_3) = 1,78$  %.
594. Первый электролизер:  $\nu(\text{Br}_2) = 0,1$  моль;  
 $\nu(\text{H}_2) = 0,1$  моль;  $\omega\{\text{Ba}(\text{OH})_2\} = 9,3$  %.  
Второй электролизер:  $\nu(\text{Cr}) = 0,165$  моль;  
 $\nu(\text{O}_2) = 0,0825$  моль;  $\omega(\text{HNO}_3) = 11,3$  %.
595. Первый электролизер:  $\nu(\text{Cr}) = 0,11$  моль;  
 $\nu(\text{O}_2) = 0,055$  моль;  $\omega(\text{HNO}_3) = 12,3$  %.  
Второй электролизер:  $\nu(\text{Cl}_2) = 0,1$  моль;  
 $\nu(\text{H}_2) = 0,11$  моль;  $\nu(\text{O}_2) = 0,005$  моль;  
 $\omega\{\text{Ba}(\text{OH})_2\} = 15,2$  %.
596. Первый электролизер:  $\nu(\text{I}_2) = 0,025$  моль;  
 $\nu(\text{H}_2) = 0,025$  моль;  $\omega(\text{KOH}) = 2,88$  %.  
Второй электролизер:  $\nu(\text{Cu}) = 0,0331$  моль;  
 $\nu(\text{O}_2) = 0,0166$  моль;  $\omega(\text{HNO}_3) = 4,28$  %.
597.  $\omega(\text{BaCl}_2 \text{ в исходном растворе}) = 10,1$  %.