

## ЗАДАНИЕ 1

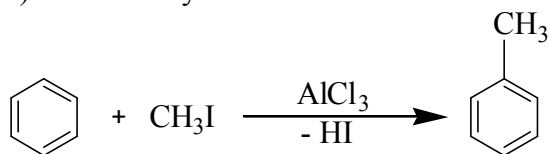
### Примеры решения задач

#### Пример 1.

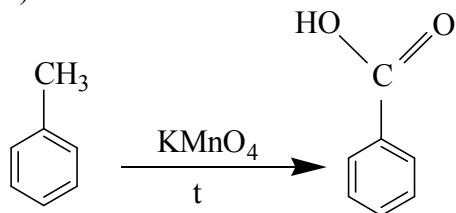
Используя известные вам свойства бензола и его производных, изобразите уравнения реакций химические процессы, при помощи которых из бензола, используя другие неорганические и органические реактивы, можно получить кратчайшим путем этилбензоат и *мета*-аминобензойную кислоту.

Решение:

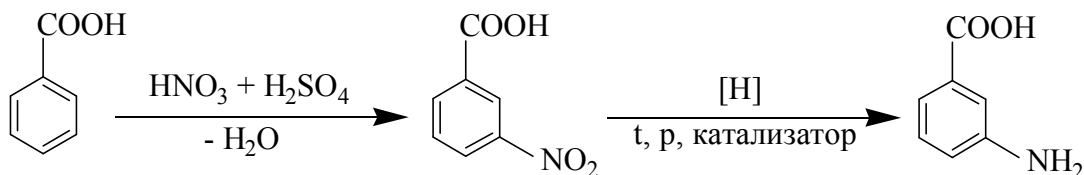
1) синтез толуола:



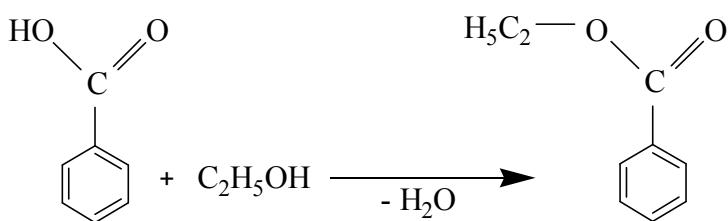
2) синтез бензойной кислоты:



3) синтез *мета*-аминобензойной кислоты:



4) синтез этилбензоата:



#### Пример 2.

Анализ пробы диоксида углерода, имеющего примесь азота, показал, что в пробе содержится 24 (мас.) % углерода. Вычислите массовую долю азота (%), содержащегося в исследуемой пробе газа.

Дано:

$$\omega(\text{C}) = 24 \%$$

$$M(\text{CO}_2) = 44 \text{ г/моль}$$

$$M(\text{C}) = 12 \text{ г/моль}$$

Найти:

$$\omega(\text{N}_2)$$

*Решение:*

Проба состоит из оксида углерода (IV)  $\text{CO}_2$  и азота  $\text{N}_2$ . Пусть масса пробы равна 100 г, тогда масса углерода составит 24 г, сделаем пересчет на оксид углерода (IV):

12 г С соответствует 44 г  $\text{CO}_2$ , тогда

24 г С соответствует  $m$  г  $\text{CO}_2$ ,

$$m = \frac{24 \cdot 44}{12} = 88 \text{ (г)},$$

следовательно, азота в пробе содержится:

$$m(\text{N}_2) = m(\text{пробы}) - m(\text{CO}_2) = 100 - 88 = 12 \text{ (г)}.$$

Тогда  $\omega(\text{CO}_2) = 88 \%$ ,  $\omega(\text{N}_2) = 12 \%$  (так как масса пробы равна 100 г).

*Ответ:*  $\omega(\text{CO}_2) = 88 \%$ ,  $\omega(\text{N}_2) = 12 \%$

### **Пример 3.**

Какой объем раствора серной кислоты ( $\omega = 60 \%$ ,  $\rho = 1,054 \text{ г/см}^3$ ) можно получить из 1 т  $\text{FeS}_2$ , если считать, что потерь в производстве не происходит?

*Дано:*

$$\omega(\text{H}_2\text{SO}_4) = 60 \%$$

$$\rho = 1,054 \text{ г/см}^3$$

$$m(\text{FeS}_2) = 1 \text{ т} = 1 \cdot 10^6 \text{ г}$$

$$M(\text{FeS}_2) = 120 \text{ г/моль}$$

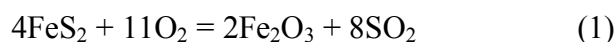
$$M(\text{H}_2\text{SO}_4) = 98 \text{ г/моль}$$

*Найти:*

$$V(\text{р-ра H}_2\text{SO}_4)$$

*Решение:*

Запишем уравнения реакций стадий процесса получения серной кислоты:



Вычислим количество вещества  $\text{FeS}_2$ , вступившего в реакцию:

$$n = \frac{m}{M} = \frac{1 \cdot 10^6}{120} = 8333,33 \text{ (моль)}.$$

Из уравнений реакций видно, что из 1 моль  $\text{FeS}_2$  можно получить 2 моль серной кислоты, т.е.  $n(\text{H}_2\text{SO}_4) = 2 \cdot 8333,33 = 16666,7$  (моль). Рассчитываем массу серной кислоты:

$$m(\text{H}_2\text{SO}_4) = n \cdot M = 16666,7 \cdot 98 = 1633336,6 \text{ (г)}.$$

Вычислим массу раствора серной кислоты, необходимого для реакции:

$$m(\text{р-ра}) = \frac{m(\text{в-ва}) \cdot 100}{\omega} = \frac{1633336,6 \cdot 100}{60} = 2722227,7 \text{ (г)}.$$

Тогда объем раствора серной кислоты равен:

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{2722227,7}{1,054} = 1809991,8 \text{ (мл)} = 1810 \text{ (л)}.$$

*Ответ:*  $V(\text{р-ра H}_2\text{SO}_4) = 1810 \text{ л}$ .

#### Пример 4.

Сплав алюминия с магнием массой 1,000 г растворили полностью в 20,00 мл 9 моль/л соляной кислоты; при этом выделилось 1,100 л водорода (н. у.). К полученному раствору добавили 200,0 мл раствора гидроксида натрия (плотность равна 1,280 г/см<sup>3</sup>) с массовой долей гидроксида натрия, равной 25,56 %. Где будет находиться алюминий – в растворе в виде диакватетрагидроксоалюминат-аниона  $[Al(OH)_4(H_2O)_2]^-$  или в осадке в виде гидроксида алюминия?

Дано:

$$m(\text{сплава}) = 1,000 \text{ г}$$

$$V(\text{р-ра HCl}) = 20,00 \text{ мл}$$

$$C_M = 9 \text{ моль/л}$$

$$V(H_2) = 1,100 \text{ л}$$

$$V(\text{р-ра NaOH}) = 200,0 \text{ мл}$$

$$\rho = 1,280 \text{ г/см}^3$$

$$\omega(\text{NaOH}) = 25,56 \%$$

$$M(\text{Al}) = 27 \text{ г/моль}$$

$$M(\text{Mg}) = 24 \text{ г/моль}$$

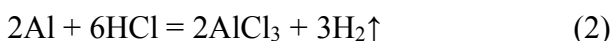
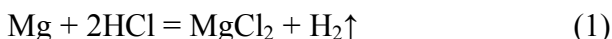
$$M(\text{NaOH}) = 40 \text{ г/моль}$$

Найти:

где будет находиться алюминий

Решение:

Запишем уравнения протекающих реакций при растворении сплава в соляной кислоте:



Рассчитаем количество водорода, выделившееся в ходе реакций:

$$n(H_2) = \frac{V}{V_m} = \frac{1,1}{22,4} = 0,049 \text{ (моль)}.$$

Определим состав сплава. Пусть по реакции (1) выделилось  $y$  моль водорода, тогда по реакции (2) объем выделившегося водорода равен  $(0,049 - y)$  моль. Пусть в сплаве содержится  $x$  г алюминия, тогда масса магния равна  $(1 - x)$  г. Определим количества этих веществ в сплаве:

$$n(\text{Al}) = \frac{m}{M} = \frac{x}{27} \text{ моль}, \quad n(\text{Mg}) = \frac{m}{M} = \frac{(1-x)}{24} \text{ моль}.$$

Составим систему двух уравнений с двумя неизвестными. По уравнению (1)  $n(\text{Mg}) = n(H_2)$ , следовательно,  $\frac{1-x}{24} = y$ .

По уравнению (2)  $n(\text{Al}) = 2/3 n(H_2)$ , следовательно,  $\frac{x}{27} = \frac{2}{3}(0,049 - y)$ .

Решаем систему уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{x}{27} = \frac{2}{3}(0,049 - y) \\ \frac{1-x}{24} = y \end{array} \right. ; \left\{ \begin{array}{l} x = \frac{2 \cdot 27}{3} \left( 0,049 - \frac{1-x}{24} \right) \\ \frac{1-x}{24} = y \end{array} \right. ; \left\{ \begin{array}{l} 0,25x = 0,132 \\ \frac{1-x}{24} = y \end{array} \right. ; \left\{ \begin{array}{l} x = 0,528 \\ y = 0,0197 \end{array} \right.$$

Рассчитаем число молей соляной кислоты, которое вступило в реакцию со сплавом:

по уравнению (1)  $n(\text{HCl})_1 = 2n(\text{H}_2)_1 = 2 \cdot y = 2 \cdot 0,0197 = 0,0394$  (моль);

по уравнению (2)  $n(\text{HCl})_2 = 2n(\text{H}_2)_2 = 2 \cdot (0,049 - y) = 2 \cdot (0,049 - 0,0197) = 0,0586$  (моль);

$n(\text{HCl})_{\text{пор.}} = n(\text{HCl})_1 + n(\text{HCl})_2 = 0,0394 + 0,0586 = 0,098$  (моль).

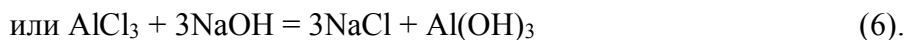
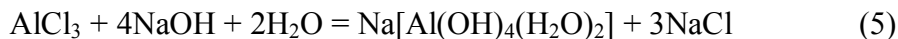
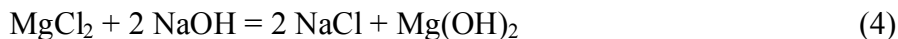
Рассчитаем число молей соляной кислоты в исходном растворе:

$$n(\text{HCl}) = \frac{C \cdot V}{1000} = \frac{9 \cdot 20}{1000} = 0,18 \text{ (моль)}.$$

Рассчитаем число молей непрореагировавшей соляной кислоты:

$n(\text{HCl})_{\text{непор.}} = n(\text{HCl}) - n(\text{HCl})_{\text{пор.}} = 0,18 - 0,098 = 0,082$  (моль).

Полученный раствор состоит из  $\text{HCl}$ ,  $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{AlCl}_3$  и воды. Запишем уравнения реакций, протекающих в полученном растворе после добавления раствора гидроксида натрия:



Определим количество гидроксида натрия в исходном растворе:

$$m(\text{р-ра}) = V \cdot \rho = 200 \cdot 1,28 = 256 \text{ (г)};$$

$$m(\text{NaOH}) = \frac{\omega \cdot m(\text{р-ра})}{100} = \frac{25,56 \cdot 256}{100} = 64,4336 \text{ (г)}, \text{ вычислим количество вещества}$$

гидроксида натрия:

$$n(\text{NaOH}) = \frac{m}{M} = \frac{64,4336}{40} = 1,6358 \text{ (моль)}.$$

Рассчитаем число молей гидроксида натрия, которое необходимо для протекания реакций (3) и (4):

по уравнению (3)  $n(\text{NaOH})_3 = n(\text{HCl})_{\text{непор.}} = 0,082$  моль;

по уравнению (4)  $n(\text{NaOH})_4 = 2n(\text{MgCl}_2) = 2n(\text{H}_2) = 2 \cdot y = 2 \cdot 0,0197 = 0,0394$  (моль);

$n(\text{NaOH})_3 + n(\text{NaOH})_4 = 0,082 + 0,0394 = 0,1214$  (моль).

Рассчитаем число молей гидроксида натрия, которое остается на протекание реакции с  $\text{AlCl}_3$ :

$n(\text{NaOH})_{5,6} = n(\text{NaOH}) - (n(\text{NaOH})_3 + n(\text{NaOH})_4) = 1,6358 - 0,1214 = 1,5144$  (моль).

Найдем соотношение количеств веществ  $\text{NaOH}$  и  $\text{AlCl}_3$ . Рассчитаем количество вещества хлорида алюминия:  $n(\text{AlCl}_3) = n(\text{Al}) = \frac{x}{27} = \frac{0,528}{27} \cong 0,02$  (моль).

Соотношение количеств веществ равно:

$$\frac{n(\text{NaOH})}{n(\text{AlCl}_3)} = \frac{1,5144}{0,02} \cong \frac{76}{1},$$

следовательно, гидроксид натрия взят в избытке, поэтому будет протекать реакция (5), т.е. алюминий в растворе будет находиться в виде диакватетрагидроксоалюминат-аниона.

Ответ:  $[\text{Al}(\text{OH})_4(\text{H}_2\text{O})_2]^-$ .

### Пример 5.

Свежеприготовленная смесь пропилового спирта и пропионовой кислоты может прореагировать со 100 мл 4,04 %-ного раствора гидрокарбоната натрия (плотность равна  $1,04 \text{ г/см}^3$ ). Выделившийся при этом газ занимает в 18 раз меньший объем, чем тот же газ, образующийся при полном сгорании такого же количества исходной смеси (объем газов измерен при одинаковых условиях). Вычислите массу и состав исходной смеси в процентах по массе.

Дано:

смесь ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH} + \text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$ )

$V(\text{р-ра NaHCO}_3) = 100 \text{ мл}$

$\omega(\text{NaOH}) = 4,04 \%$

$\rho = 1,04 \text{ г/см}^3$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{1}{18}$$

$M(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 84 \text{ г/моль}$

$M(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}) = 60 \text{ г/моль}$

$M(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}) = 74 \text{ г/моль}$

Найти:

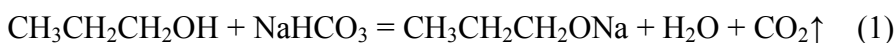
$m$  (смеси)

$\omega(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH})$

$\omega(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH})$

Решение:

Запишем уравнения реакций взаимодействия смеси пропилового спирта и пропионовой кислоты с раствором гидрокарбоната натрия:



$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH} + \text{NaHCO}_3 \rightarrow$  реакция не протекает.

Определим количество вещества гидрокарбоната натрия в исходном растворе:

$$m(\text{р-ра}) = V \cdot \rho = 100 \cdot 1,04 = 104 \text{ (г)};$$

$$m(\text{NaHCO}_3) = \frac{\omega \cdot m(\text{р-ра})}{100} = \frac{4,04 \cdot 104}{100} = 4,20 \text{ (г)};$$

$$m(\text{NaHCO}_3) = \frac{m}{M} = \frac{4,20}{84} = 0,05 \text{ (моль)}.$$

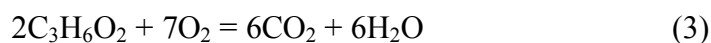
$$n = \frac{m}{M} = \frac{4,20}{84} = 0,05 \text{ моль}.$$

Вычислим массу спирта вступившего в реакцию. По реакции (1)  $n(\text{CO}_2) = n(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}) = 0,05 \text{ моль}$ ;

$$m(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}) = n \cdot M = 0,05 \cdot 60 = 3 \text{ (г)}.$$

Определим массу кислоты. Запишем реакции горения исходных веществ:





По условию задачи  $\frac{V_1}{V_2} = \frac{1}{18}$ , следовательно,  $V_2 = 18V_1$ , т.к. объемы газов измерены

при одинаковых условиях, то  $n_2 = 18n_1 = 18 \cdot 0,05 = 0,9$  (моль).

Из уравнения (2) следует, что  $n(\text{CO}_2) = 3n(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}) = 3 \cdot 0,05 = 0,15$  (моль). Количество  $\text{CO}_2$ , выделившееся по реакции (3), равно  $0,9 - 0,15 = 0,75$  (моль). Тогда количество вещества пропионовой кислоты равно:

$$n(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH}) = 1/3 n(\text{CO}_2) = \frac{0,75}{3} = 0,25 \text{ (моль)},$$

следовательно,  $m(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH}) = n \cdot M = 0,25 \cdot 74 = 18,5$  (г).

Вычислим массу смеси:

$$m(\text{смеси}) = m(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}) + m(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH}) = 3 + 18,5 = 21,5 \text{ (г)}.$$

Рассчитаем массовые доли веществ в смеси:

$$\omega(\text{C}_3\text{H}_8\text{O}) = \frac{m(\text{C}_3\text{H}_8\text{O})}{m(\text{смеси})} \cdot 100 = \frac{3}{21,5} \cdot 100 = 13,95 \text{ \%};$$

$$\omega(\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2) = \frac{m(\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2)}{m(\text{смеси})} \cdot 100 = \frac{18,5}{21,5} \cdot 100 = 86,05 \text{ \%}.$$

*Ответ:*  $m(\text{смеси}) = 21,5$  г;  $\omega(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}) = 13,95 \text{ \%}$ ;  $\omega(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}) = 86,05 \text{ \%}$ .