

§ 10. Расчет массы (объема) образующихся веществ (продуктов) по массе (объему) исходных веществ (реагентов)

В этом параграфе мы рассмотрим, как можно по химическому уравнению рассчитать массу (или объем) продукта реакции, исходя из массы (или объема) реагента.

Для расчета массы (объема) как продукта, так и реагента необходимо знать химическое количество каждого из них. Математическую связь между химическим количеством реагента и химическим количеством продукта можно установить из уравнения реакции. Как это делать, мы уже знаем из предыдущего параграфа.

Пример 1. *Рассчитайте массу железной окалины Fe_3O_4 , которая образуется при полном сгорании железа массой 8,4 г в кислороде.*

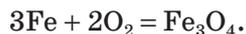
Дано:

$$m(Fe) = 8,4 \text{ г}$$

$$m(Fe_3O_4) = ?$$

Решение

1. Запишем уравнение протекающей химической реакции:



2. Химическое количество вступившего в реакцию железа равно:

$$n(Fe) = \frac{m(Fe)}{M(Fe)} = \frac{8,4 \text{ г}}{56 \text{ г/моль}} = 0,15 \text{ моль}.$$

3. Из уравнения реакции следует, что из 3 моль Fe образуется 1 моль Fe_3O_4 . Это означает, что химическое количество образовавшегося Fe_3O_4 в 3 раза меньше химического количества, вступившего в реакцию Fe. В математической форме это можно записать так: $n(Fe_3O_4) = \frac{n(Fe)}{3}$.

Химическое количество образовавшегося Fe_3O_4 равно:

$$n(Fe_3O_4) = \frac{n(Fe)}{3} = \frac{0,15 \text{ моль}}{3} = 0,05 \text{ моль}.$$

4. Массу Fe_3O_4 рассчитаем по формуле:

$$m(Fe_3O_4) = n(Fe_3O_4) \cdot M(Fe_3O_4).$$

5. Для определения молярной массы Fe_3O_4 произведем соответствующие расчеты:

$$M_r(Fe_3O_4) = 3 \cdot A_r(Fe) + 4 \cdot A_r(O) = 3 \cdot 56 + 4 \cdot 16 = 232.$$

Следовательно, $M(Fe_3O_4) = 232 \text{ г/моль}$.

6. Масса образовавшегося Fe_3O_4 равна:

$$m(\text{Fe}_3\text{O}_4) = n(\text{Fe}_3\text{O}_4) \cdot M(\text{Fe}_3\text{O}_4) = 0,05 \text{ моль} \cdot 232 \text{ г/моль} = 11,6 \text{ г.}$$

Ответ: $m(\text{Fe}_3\text{O}_4) = 11,6 \text{ г.}$

Другой способ решения этой задачи приведен в *Приложении 1*.

Если реагент и продукт являются газами, то коэффициенты в уравнении химической реакции показывают не только соотношение их химических количеств, но и соотношение их объемов. Это упрощает проведение расчетов в таком случае. Вычисления можно также проводить и как в примере 1, с той лишь разницей, что химическое количество газа следует рассчитать с помощью молярного объема газа V_m . Такое решение также является верным, но включает большее количество вычислений.

Пример 2. *Рассчитайте объем (н. у.) углекислого газа, образующегося при полном сгорании угарного газа в кислороде объемом 212 дм^3 (н. у.).*

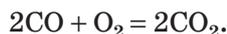
Дано:

$$V(\text{O}_2) = 212 \text{ дм}^3$$

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

Решение

1. Запишем уравнение протекающей химической реакции:



2. Как реагент (O_2), так и продукт (CO_2) при н. у. являются газами. В этом случае коэффициенты в уравнении химической реакции показывают соотношение их объемов. Из уравнения химической реакции следует, что из 1 объема O_2 образуется 2 объема CO_2 . Это означает, что объем образовавшегося CO_2 в 2 раза больше объема, вступившего в реакцию O_2 . В математической форме это можно записать так:

$$V(\text{CO}_2) = 2 \cdot V(\text{O}_2).$$

Следовательно, объем образовавшегося CO_2 равен:

$$V(\text{CO}_2) = 2 \cdot V(\text{O}_2) = 2 \cdot 212 \text{ дм}^3 = 424 \text{ дм}^3.$$

Ответ: $V(\text{CO}_2) = 424 \text{ дм}^3.$

Если реагентом является газ, то для расчета его химического количества следует использовать молярный объем газов V_m .

Пример 3. *Для получения вольфрама оксид вольфрама(VI) нагревают в токе водорода. Рассчитайте массу вольфрама, который образуется при пропускании водорода объемом $16,8 \text{ дм}^3$ (н. у.) над оксидом вольфрама(VI).*

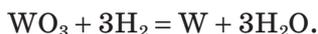
Дано:

$$V(\text{H}_2) = 16,8 \text{ дм}^3$$

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

Решение

1. Запишем уравнение протекающей химической реакции:



2. Химическое количество вступившего в реакцию H_2 равно:

$$n(\text{H}_2) = \frac{V(\text{H}_2)}{V_m} = \frac{16,8 \text{ дм}^3}{22,4 \text{ дм}^3/\text{моль}} = 0,75 \text{ моль}.$$

3. Из уравнения химической реакции следует, что химическое количество образовавшегося W в 3 раза меньше химического количества вступившего в реакцию H_2 . В математической форме это можно записать так:

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

Следовательно, химическое количество образовавшегося W равно:

$$n(\text{W}) = \frac{n(\text{H}_2)}{3} = \frac{0,75 \text{ моль}}{3} = 0,25 \text{ моль}.$$

4. Рассчитаем массу образовавшегося вольфрама:

$$m(\text{W}) = n(\text{W}) \cdot M(\text{W}) = 0,25 \text{ моль} \cdot 184 \text{ г/моль} = 46 \text{ г}.$$

Ответ: $m(\text{W}) = 46 \text{ г}$.

Другой способ решения этой задачи приведен в *Приложении 2*.

Вопросы и задания

1. Рассчитайте массу хлорида натрия, который образуется в результате реакции натрия массой 55,2 г с хлором Cl_2 .
2. Гидроксид кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$, широко использующийся в строительстве, получают реакцией оксида кальция с водой. Рассчитайте массу указанного гидроксида, который можно получить, исходя из оксида кальция массой 280 г.
3. Объем кислорода, прореагировавшего с магнием, равен 56 дм³ (н. у.). Рассчитайте массу образовавшегося оксида магния.
4. Гидроксид натрия массой 46 г нейтрализовали соляной кислотой. Рассчитайте массы каждого из продуктов данной реакции.
5. При нагревании оксида меди(I) в кислороде образуется оксид меди(II). Рассчитайте массу продукта данной реакции, если объем прореагировавшего кислорода равен 67,2 дм³ (н. у.).
6. Масса азота, прореагировавшего с водородом, равна 560 г. Рассчитайте объем (н. у.) образовавшегося аммиака NH_3 .

7. Рассчитайте объем (н. у.) углекислого газа, который образуется при полном сгорании метана объемом $6,72 \text{ м}^3$ (н. у.) в кислороде.
8. Смесь магния и цинка, в которой их химические количества были равны соответственно $0,25$ моль и $0,5$ моль, растворили в соляной кислоте. Рассчитайте общую массу образовавшихся солей и объем выделившегося водорода.
9. В былые времена для получения водорода в промышленных масштабах пары воды пропускали над раскаленными чугунами стружками (сплав железа и углерода). Продуктами этой реакции были железная окалина Fe_3O_4 и водород H_2 . Рассчитайте массу железной окислы и объем (н. у.) водорода, которые образуются при пропускании паров воды над раскаленными чугунами стружками, в состав которых входит железо массой 420 г .

Готовимся к олимпиадам

1. В большей части нефти, добываемой из месторождений на территории Республики Беларусь, массовая доля серы составляет не более $0,6 \%$. Это является одним из показателей высокого качества нефти. Рассчитайте объем (н. у.) оксида серы(IV), который можно получить из серы, содержащейся в нефти массой 2 т .

§ 11. Расчет массы (объема) исходных веществ (реагентов) по массе (объему) образующихся веществ (продуктов)

Как рассчитать массу (объем) продукта реакции, мы узнали из предыдущего параграфа. В этом параграфе мы узнаем, как решить обратную задачу — по массе (объему) продукта реакции рассчитать массу (объем) реагентов.

Такие расчеты ничем не отличаются от уже рассмотренных нами. Отличие состоит лишь в том, что из уравнения химической реакции нам необходимо получить зависимость химического количества (объема) реагентов от химического количества (объема) продуктов реакции.

Пример 1. *Алюминий в промышленности получают из оксида алюминия. Под действием электрического тока при высокой температуре он разлагается на алюминий и кислород. Рассчитайте массу оксида алюминия, которая необходима для получения алюминия массой 540 кг .*

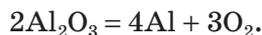
Дано:

$$m(\text{Al}) = 540 \text{ кг} = 540 \cdot 10^3 \text{ г}$$

$$m(\text{Al}_2\text{O}_3) - ?$$

Решение

1. Запишем уравнение протекающей химической реакции:



2. Химическое количество продукта реакции равно:

$$n(\text{Al}) = \frac{m(\text{Al})}{M(\text{Al})} = \frac{540 \cdot 10^3 \text{ г}}{27 \text{ г/моль}} = 20 \cdot 10^3 \text{ моль.}$$

3. Из уравнения химической реакции следует, что 4 моль Al образуются из 2 моль Al_2O_3 . Это означает, что химическое количество исходного Al_2O_3 в 2 раза меньше химического количества образовавшегося Al.

В математической форме это можно записать так: $n(\text{Al}_2\text{O}_3) = \frac{n(\text{Al})}{2}$.

Следовательно, химическое количество Al_2O_3 равно:

$$n(\text{Al}_2\text{O}_3) = \frac{n(\text{Al})}{2} = \frac{20 \cdot 10^3 \text{ моль}}{2} = 1 \cdot 10^4 \text{ моль.}$$

4. Определим молярную массу Al_2O_3 :

$$M_r(\text{Al}_2\text{O}_3) = 2 \cdot A_r(\text{Al}) + 3 \cdot A_r(\text{O}) = 2 \cdot 27 + 3 \cdot 16 = 102.$$

Следовательно, $M(\text{Al}_2\text{O}_3) = 102 \text{ г/моль}$.

5. Рассчитаем массу оксида алюминия:

$$\begin{aligned} m(\text{Al}_2\text{O}_3) &= n(\text{Al}_2\text{O}_3) \cdot M(\text{Al}_2\text{O}_3) = 1 \cdot 10^4 \text{ моль} \cdot 102 \text{ г/моль} = \\ &= 1,02 \cdot 10^6 \text{ г} = 1020 \text{ кг.} \end{aligned}$$

Ответ: $m(\text{Al}_2\text{O}_3) = 1020 \text{ кг}$.

Как мы уже знаем, если реагент и продукт являются газами, то удобнее пользоваться их объемным соотношением в ходе реакции. Это упрощает расчеты.

Пример 2. При полном сгорании аммиака NH_3 в кислороде O_2 образуются азот N_2 и вода H_2O . Рассчитайте объем (н. у.) кислорода, который был израсходован для сжигания аммиака, если при этом образовался азот объемом 120 дм^3 (н. у.).

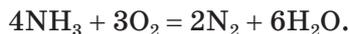
Дано:

$$V(\text{N}_2) = 120 \text{ дм}^3$$

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

Решение

1. Запишем уравнение протекающей реакции:



2. Из уравнения химической реакции следует, что если в реакцию вступит 3 объема O_2 , то образуется 2 объема N_2 . Это означает, что объем вступившего в реакцию O_2 в $\frac{3}{2}$ раза больше объема образовавшегося N_2 .

Математически это можно записать так:

$$V(\text{O}_2) = \frac{3}{2} V(\text{N}_2).$$

В соответствии с этим объем O_2 , затраченного на сжигание аммиака, равен:

$$V(O_2) = \frac{3}{2} \cdot V(N_2) = \frac{3}{2} \cdot 120 \text{ дм}^3 = 180 \text{ дм}^3.$$

Ответ: $V(O_2) = 180 \text{ дм}^3$.

Если продуктом реакции является газ, то для расчета его химического количества следует использовать молярный объем газов V_m .

Пример 3. В виде простого вещества кислород впервые был получен при нагревании оксида ртути(II). Рассчитайте массу оксида ртути(II), необходимого для получения кислорода объемом 560 см^3 (н. у.).

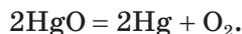
Дано:

$$V(O_2) = 560 \text{ см}^3 = 0,560 \text{ дм}^3$$

$m(\text{HgO})$ — ?

Решение

1. Запишем уравнение протекающей химической реакции:



2. Химическое количество образовавшегося O_2 равно:

$$n(O_2) = \frac{V(O_2)}{V_m} = \frac{0,56 \text{ дм}^3}{22,4 \text{ дм}^3/\text{моль}} = 0,025 \text{ моль}.$$

3. Из уравнения химической реакции следует, что 1 моль O_2 образуется из 2 моль HgO . Это означает, что химическое количество вступившего в реакцию HgO в 2 раза больше химического количества образовавшегося O_2 . Математически это можно записать так:

$$n(\text{HgO}) = 2 \cdot n(O_2).$$

В соответствии с этим химическое количество HgO равно:

$$n(\text{HgO}) = 2 \cdot n(O_2) = 2 \cdot 0,025 \text{ моль} = 0,05 \text{ моль}.$$

4. Массу HgO рассчитаем по формуле:

$$m(\text{HgO}) = n(\text{HgO}) \cdot M(\text{HgO}).$$

Поскольку $M_r(\text{HgO}) = A_r(\text{Hg}) + A_r(\text{O}) = 201 + 16 = 217$,

$$M(\text{HgO}) = 217 \text{ г/моль}.$$

Следовательно, масса HgO равна:

$$m(\text{HgO}) = n(\text{HgO}) \cdot M(\text{HgO}) = 0,05 \text{ моль} \cdot 217 \text{ г/моль} = 10,85 \text{ г}.$$

Ответ: $m(\text{HgO}) = 10,85 \text{ г}$.

Если среди продуктов реакции есть твердые вещества и газы, то для нахождения их масс (объемов) следует использовать молярную массу (для твердых веществ) и молярный объем газа (для газообразных веществ).

Мы познакомились только с некоторыми из способов проведения расчетов по уравнениям химических реакций, но существуют и другие. Обратите внимание на главное — любые подобные расчеты основаны на использовании коэффициентов из уравнения химической реакции. Поэтому для правильного проведения таких расчетов следует хорошо понимать смысл, который они имеют в уравнении химической реакции.

Вопросы и задания

1. Рассчитайте массу натрия, при взаимодействии которого с водой образуется гидроксид натрия массой 100 г.
2. В результате сгорания железа в кислороде образовалась железная окалина Fe_3O_4 массой 34,8 г. Рассчитайте массу железа и объем кислорода, вступивших в указанную химическую реакцию.
3. Рассчитайте объем кислорода, прореагировавшего с фосфором, если в результате реакции образовался оксид фосфора(V) массой 35,5 г.
4. В результате сгорания угарного газа CO в кислороде образовался углекислый газ массой 110 г. Рассчитайте общий объем прореагировавших CO и O_2 .
5. При нагревании оксида азота(I) протекает реакция его разложения на простые вещества. Рассчитайте объем (н. у.) оксида азота(I), который вступил в реакцию, если при этом образовался кислород объемом 5,6 дм^3 (н. у.).
6. Аммиак NH_3 в промышленных условиях получают реакцией азота с водородом. Рассчитайте объемы (н. у.) указанных реагентов, необходимых для получения аммиака массой 51 кг.
7. При полном сгорании в кислороде смеси углерода и серы образовалась газовая смесь объемом 33,6 дм^3 (н. у.), в которой объемные доли газов одинаковы. Рассчитайте массу сгоревшей смеси углерода и серы.

Готовимся к олимпиадам

1. Смесь водорода и кислорода общим объемом 400 дм^3 (н. у.) подожгли. Объем водорода, оставшегося после окончания реакции, составил 100 дм^3 (н. у.). Рассчитайте объемную долю кислорода в исходной газовой смеси.