

Алканы сгорают в кислороде. В результате реакции могут образовываться CO_2 , CO , C и H_2O .

Алканы содержатся в природном газе и нефти.

Алканы в основном используются в качестве топлива, а также для получения других веществ (водород, ненасыщенные углеводороды).

Вопросы и задания

1. Напишите уравнение реакции монобромирования этана.
2. Напишите уравнения реакций, которые протекают при взаимодействии *n*-бутана с хлором. Считайте, что только один атом водорода в молекуле *n*-бутана замещается на хлор. Подпишите названия образующихся органических веществ.
3. Сколько хлорпроизводных можно получить в результате хлорирования этана? Напишите уравнения реакций получения всех возможных хлорпроизводных этана, назовите хлорпроизводные. Можно ли при записи уравнений реакций в данном случае использовать молекулярные формулы?
4. Напишите уравнение реакции горения бутана в избытке кислорода. Какой объём (н. у.) углекислого газа образуется при сжигании 1 моль бутана?
5. Напишите уравнение реакции пиролиза метана с образованием водорода и углерода. Найдите массу углерода, который может быть получен при полном разложении 44,8 дм³ (н. у.) метана.
6. Назовите основные области применения алканов.

§ 11. Установление формулы органического вещества

Установление строения химического соединения является предметом научного исследования. Сложность данной проблемы зависит от сложности строения соединения. Первым этапом исследования, как правило, является определение молекулярной формулы вещества. Рассмотрим некоторые способы установления формул органических веществ на достаточно простых примерах.

Пример 1. *Более двух столетий назад химики уже умели определять качественный и количественный состав веществ. Например, было известно, что в состав одного из органических веществ входят углерод и водород, причём массовая доля углерода составляет 75 %, а водорода — 25 %. То есть в 100 г вещества содержится 75 г углерода и 25 г водорода. Используя эти данные, определите формулу органического вещества.*

Поскольку неизвестное органическое вещество состоит только из углерода и водорода, то его молекулярную формулу можно представить в виде C_xH_y . Таким образом, решение задачи сводится к нахождению индексов x и y в формуле вещества. Индексы x и y в формуле показывают количества атомов углерода и водорода в молекуле органического вещества, поэтому на первом этапе решения подобных задач необходимо найти простейшее целочисленное соотношение между количеством атомов углерода и водорода в неизвестном веществе:

$$x : y = n(C) : n(H).$$

По условию, масса атомов углерода равна 75 г, водорода — 25 г. Тогда:

$$x : y = n(C) : n(H) = \frac{m(C)}{M(C)} : \frac{m(H)}{M(H)} = \frac{75}{12} : \frac{25}{1} = 6,25 : 25.$$

Точность промежуточных вычислений должна соответствовать точности исходных данных, то есть промежуточные значения должны содержать не меньше значащих цифр, чем данные задачи.

Видно, что полученное соотношение не является целочисленным. Чтобы получить целочисленные значения индексов x и y , выполняют следующие действия: сначала все числа полученного соотношения делят на наименьшее (в одном случае уже будет единица), и при необходимости умножают полученные числа на натуральное число (2, 3 и т. д.) для получения целочисленного соотношения:

$$x : y = \frac{6,25}{6,25} : \frac{25}{6,25} = 1,00 : 4,00, \text{ или } 1 : 4.$$

Тогда формула соединения — CH_4 . Это вещество нам хорошо известно, оно называется **метан**.

Ответ: CH_4 .

Пример 2. *Некоторое органическое вещество состоит из углерода и водорода. Массовая доля углерода в веществе составляет 82,8 %. Установите молекулярную формулу вещества.*

Поскольку неизвестное органическое вещество состоит только из углерода и водорода, то его формула — C_xH_y . В условии задачи даны массовые доли элементов в веществе. В таких случаях при решении задачи удобно рассмотреть определённую массу вещества, которую обычно принимают

равной 100 г. В этом случае массовые доли элементов будут совпадать по величине с их массами. Тогда простейшее целочисленное соотношение индексов в формуле вещества:

$$x : y = n(\text{C}) : n(\text{H}) = \frac{82,8}{12} : \frac{17,2}{1} = 6,90 : 17,2 = 1,00 : 2,49 = 2,00 : 4,98, \text{ или } 2 : 5.$$

Следовательно, *простейшая формула* органического вещества — C_2H_5 . Устойчивого органического вещества с такой формулой не существует. Действительно, формула C_2H_5 соответствует этильному радикалу. Чтобы определить *истинную формулу* органического вещества, будем учитывать, что удвоение, утроение и т. д. индексов в формуле не изменяет соотношение между ними. Удвоив индексы в *простейшей формуле* C_2H_5 , получим формулу C_4H_{10} . Эта формула соответствует углеводороду **бутану**. Таким образом, *истинная формула* вещества — C_4H_{10} .

Ответ: C_4H_{10} .

В рассмотренных примерах для определения формулы органического вещества нам было достаточно знать лишь массовые доли элементов в веществе. В то же время, в некоторых случаях, зная лишь массовые доли элементов в веществе, можно определить только простейшую, но не истинную формулу. В таких случаях для установления *истинной формулы* необходимы дополнительные данные. Как правило, это сведения о молярной массе соединения.

Пример 3. Молярная масса углеводорода равна 42 г/моль. Массовая доля углерода в углеводороде составляет 85,7 %. Установите молекулярную формулу углеводорода.

Формула углеводорода — C_xH_y . Найдём простейшее целочисленное соотношение индексов в формуле вещества:

$$x : y = n(\text{C}) : n(\text{H}) = \frac{85,7}{12} : \frac{14,3}{1} = 7,14 : 14,3 = 1,00 : 2,00, \text{ или } 1 : 2.$$

Следовательно, *простейшая формула* углеводорода — CH_2 . Удвоив индексы в *простейшей формуле* CH_2 , получим формулу C_2H_4 . Эта формула соответствует углеводороду **этилену**. Если утроить индексы в *простейшей формуле* CH_2 , то получится формула C_3H_6 . Данная формула соответствует углеводороду **пропилену**. То есть, найденному соотношению индексов соответствует множество веществ, поэтому в данном случае, используя лишь

массовые доли элементов, невозможно установить истинную формулу вещества.

Для установления истинной формулы сравним молярную массу углеводорода с молярной массой простейшей формулы CH_2 :

$$\frac{M(\text{углеводорода})}{M(\text{CH}_2)} = \frac{42}{14} = 3.$$

Следовательно, чтобы получить истинную формулу, необходимо увеличить индексы в простейшей формуле CH_2 в 3 раза. Тогда истинная формула углеводорода — C_3H_6 .

Ответ: C_3H_6 .

В составе органических соединений, наряду с углеродом и водородом, часто присутствует кислород. Выведем молекулярную формулу кислородсодержащего соединения.

Пример 4. Установите простейшую формулу вещества, содержащего 37,50 % углерода, 12,50 % водорода и 50,00 % кислорода (по массе).

Простейшее целочисленное соотношение индексов в формуле вещества:

$$\begin{aligned}x : y : z = n(\text{C}) : n(\text{H}) : n(\text{O}) &= \frac{37,50}{12} : \frac{12,50}{1} : \frac{50,00}{16} = \\ &= 3,125 : 12,50 : 3,125 = 1 : 4 : 1.\end{aligned}$$

Простейшая формула вещества CH_4O . Этой молекулярной формуле соответствует метиловый спирт $\text{CH}_3\text{—OH}$.

Ответ: CH_4O или $\text{CH}_3\text{—OH}$.

В рассмотренных примерах для установления формул мы использовали сведения о массовых долях элементов в веществе. Формулу органического вещества можно вывести также на основании данных эксперимента по сжиганию определённой массы органического вещества.

Пример 5. В результате сжигания 1,50 г органического вещества получено 2,20 г углекислого газа и 0,90 г воды. Молярная масса вещества равна 60 г/моль. Установите формулу вещества.

Поскольку при сжигании вещества образовались только углекислый газ и вода, то в состав вещества могли входить лишь атомы углерода, водорода и кислорода. Тогда формула вещества — $\text{C}_x\text{H}_y\text{O}_z$. Соотношение индексов в формуле будем находить из условия:

$$x : y : z = n(\text{C}) : n(\text{H}) : n(\text{O}).$$

Составим схему реакции:



Из схемы реакции видно, что углерод из органического вещества переходит в CO_2 , водород — в H_2O . Таким образом количества углерода и водорода в CO_2 и H_2O будут такими же, как в органическом веществе.

Найдём количество углерода в CO_2 :

$$n(C) = n(CO_2) = \frac{2,20}{44} = 0,05 \text{ моль.}$$

В молекуле воды содержится два атома водорода, следовательно, количество (моль) водорода в два раза больше количества воды:

$$n(H) = 2n(H_2O) = 2 \frac{0,90}{18} = 0,1 \text{ моль.}$$

Определим количество (моль) атомов кислорода в веществе. Для этого рассчитаем массы углерода и водорода в данной порции вещества:

$$m(C) = n(C) \cdot M(C) = 0,05 \cdot 12 = 0,6 \text{ г;}$$

$$m(H) = n(H) \cdot M(H) = 0,1 \cdot 1 = 0,1 \text{ г.}$$

Рассчитаем массу и количество кислорода в веществе:

$$m(O) = m(\text{вещества}) - m(C) - m(H) = 1,5 - 0,6 - 0,1 = 0,8 \text{ г;}$$

$$n(O) = \frac{m(O)}{M(O)} = \frac{0,8}{16} = 0,05 \text{ моль.}$$

Простейшее целочисленное соотношение индексов в формуле вещества:

$$x : y : z = n(C) : n(H) : n(O) = 0,05 : 0,1 : 0,05 = 1 : 2 : 1.$$

Таким образом, *простейшая формула* органического вещества — CH_2O .

Для установления истинной формулы сравним молярную массу вещества с молярной массой простейшей формулы CH_2O :

$$\frac{M(\text{вещества})}{M(CH_2O)} = \frac{60}{30} = 2.$$

Следовательно, чтобы получить истинную формулу, необходимо увеличить индексы в простейшей формуле CH_2O в два раза. Тогда истинная

формула вещества — $C_2H_4O_2$. Одним из веществ, имеющих такую молекулярную формулу, является уксусная кислота CH_3COOH .

Ответ: $C_2H_4O_2$.

Обобщим вышеизложенное. Зная количества (моль) элементов в веществе можно установить *простейшую формулу* вещества. Для вывода истинной формулы зачастую необходимы дополнительные данные, например сведения о молярной массе вещества.

Вывод формулы органического вещества обычно состоит из следующих этапов:

- а) вычисление количества (моль) элементов в веществе;*
- б) определение простейшего целочисленного соотношения между вычисленными количествами элементов — установление простейшей формулы вещества;*
- в) установление истинной формулы вещества.*

Для установления простейшей формулы достаточно знать количества (моль) элементов в веществе.

Для определения истинной формулы часто требуются дополнительные данные, например сведения о молярной массе вещества.

Вопросы и задания

1. Углевдород содержит 81,8 % углерода по массе. Установите формулу углеводорода.

2. Газообразный углеводород имеет плотность 0,714 г/дм³ (н. у.). Определите молярную массу углеводорода. Выведите его молекулярную формулу.

3. Углевдород содержит 83,72 % углерода и 16,28 % водорода по массе. Установите его простейшую и истинную формулы. Напишите структурные формулы всех веществ, удовлетворяющих условию задачи.

4. Молярная масса вещества **A** равна 72 г/моль. При сгорании 1,44 г этого вещества в избытке кислорода получили углекислый газ массой 4,4 г и воду массой 2,16 г. Установите молекулярную формулу вещества **A** и приведите структурные формулы всех веществ, имеющих такую молекулярную формулу.

5. В результате сжигания в кислороде органического соединения массой 1,38 г получено 2,64 г CO_2 и 1,62 г воды. Установите молекулярную формулу органического соединения, если известно, что его молекула содержит один атом кислорода. Напишите возможные структурные формулы этого соединения.

6*. Углевдород сожгли в избытке кислорода. После удаления избыточного кислорода газообразная смесь продуктов сгорания имеет среднюю молярную массу,

равную 30 г/моль (110 °С, атмосферное давление). Установите молекулярную формулу углеводорода.

Вы можете познакомиться с циклоалканами — насыщенными углеводородами, в молекулах которых имеется цикл из атомов углерода, перейдя по ссылке в QR-коде.

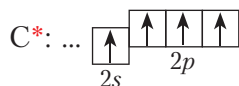


* Циклоалканы

§ 12. Алкены. Строение молекул

Атомы углерода могут быть связаны между собой не только одинарными, но и двойными связями. Простейшим углеводородом, содержащим двойную связь, является *этилен* $\text{CH}_2=\text{CH}_2$. Рассмотрим строение его молекулы.

Как и в случае алканов, углерод в молекуле этилена четырёхвалентен. Образование четырёх связей происходит за счёт четырёх атомных орбиталей:



Напомним, что в молекулах изученных нами алканов каждый атом углерода находится в состоянии sp^3 -гибридизации (§ 7). То есть одна s - и три p -орбитали атома углерода смешиваются, образуя четыре одинаковые по форме sp^3 -гибридные орбитали. Эти орбитали располагаются в пространстве на максимальном удалении друг от друга под углом примерно 109° .

Двойная связь в молекуле этилена образуется между атомами углерода, находящимися в состоянии sp^2 -гибридизации. В sp^2 -гибридизации принимают участие: одна s - и две p -орбитали (рис. 12.1).

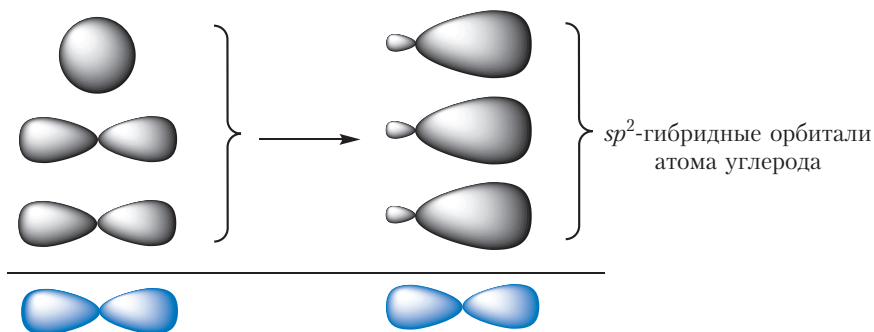


Рис. 12.1 sp^2 -Гибридизация орбиталей атома углерода